

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

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання лабораторних і практичних робіт з дисципліни  
**«Конструювання і виготовлення оснастки  
спеціальних видів лиття»**  
для студентів спеціальностей G9 «Прикладна механіка»  
та G10 «Металургія» усіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання лабораторних і практичних робіт з дисципліни «Конструювання і виготовлення оснастки спеціальних видів лиття» для студентів спеціальностей G9 «Прикладна механіка» та G10 «Металургія» усіх форм навчання / Укл.: В. М. Сажнів, М. В. Матвейшин. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. – 66 с.

Укладачі: В. М. Сажнів, канд. техн. наук, доцент  
М. В. Матвейшин, асистент

Рецензент: В. В. Кудін, канд. техн. наук, доцент

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

**Затверджено**  
на засіданні кафедри  
«Машини і технологія  
ливарного виробництва»

Протокол № 5  
від «26» грудня 2024 р

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

Протокол № 5  
від «28» січня 2025 р

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Лабораторна робота №1. Конструювання і виготовлення прес-форм для лиття за витоплюваними моделями.....	6
1.1 Загальні відомості.....	6
1.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи.....	11
1.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи.....	11
1.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання.....	11
1.5 Порядок проведення лабораторної роботи.....	12
1.6 Зміст звіту.....	12
1.7 Рекомендована література.....	13
2 Лабораторна робота №2. Конструювання і виготовлення прес-форм для лиття під тиском.....	14
2.1 Загальні відомості.....	14
2.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи.....	19
2.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи.....	19
2.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання.....	19
2.5 Порядок проведення лабораторної роботи.....	20
2.6 Зміст звіту.....	20
2.7 Рекомендована література.....	20
3 Лабораторна робота №3. Конструювання і виготовлення кокілів.....	21
3.1 Загальні відомості.....	21
3.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи.....	27
3.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи.....	27
3.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання.....	28
3.5 Порядок проведення лабораторної роботи.....	28
3.6 Зміст звіту.....	28
3.7 Рекомендована література.....	29
4 Практична робота №1. Технологічні і конструктивні розрахунки при конструюванні прес-форм лиття за витоплюваними моделями.	30
4.1 Загальні відомості.....	30
4.2 Документація, обладнання.....	40

4.3	Порядок виконання практичної роботи.....	41
4.4	Зміст звіту.....	42
4.5	Рекомендована література.....	42
5	Практична робота №2. Технологічні і конструктивні розрахунки при конструюванні прес-форм лиття під тиском.....	43
5.1	Загальні відомості.....	43
5.2	Документація, обладнання.....	52
5.3	Порядок виконання практичної роботи.....	52
5.4	Зміст звіту.....	53
5.5	Рекомендована література.....	53
6	Практична робота №3. Технологічні і конструктивні розрахунки при конструюванні коклів.....	54
6.1	Загальні відомості.....	54
6.2	Документація, обладнання.....	65
6.3	Порядок виконання практичної роботи.....	65
6.4	Зміст звіту.....	65
6.5	Рекомендована література.....	66

## ВСТУП

Тенденція переходу від традиційних способів лиття в піщані форми до спеціальних способів лиття пояснюється тим, що спеціальні способи лиття сприяють різкому зниженню витрат праці і металомісткості виливків, досягненню високих значень фізико-механічних характеристик і експлуатаційних властивостей литих деталей.

Отримані спеціальними способами литі деталі успішно конкурують з деталями, виготовленими з деформованих матеріалів, металевих порошків та ін. Литі деталі у зрівнянні з деталями, виготовленими іншими способами, мають ряд переваг, а саме: меншу вартість, можливість отримання складних криволінійних поверхонь, внутрішніх порожнин, виступів, розташованих у різних площинах, при мінімальній механічній обробці, що особливо важливо при виготовленні деталей з матеріалів, що погано обробляються.

Основним недоліком всіх спеціальних видів лиття є висока вартість конструювання та виготовлення головного інструмента, який забезпечує отримання вказаних вище переваг: прес-форм, кокілів, моделей, тому питання проектування оснастки, вибір матеріалів для її виготовлення, стійкість, шляхи її підвищення є основною темою лабораторних і практичних робіт. В них розглянуті спеціальні види лиття, які знайшли найбільше застосування в промисловості: лиття за витоплюваними моделями, лиття під тиском, лиття у кокіль.

## 1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

### КОНСТРУЮВАННЯ І ВИГОТОВЛЕННЯ ПРЕС-ФОРМ ДЛЯ ЛИТТЯ ЗА ВИТОПЛЮВАНИМИ МОДЕЛЯМИ

Виконання лабораторної роботи повинно забезпечити:

- знання конструкцій технологічної оснастки для лиття за витоплюваними моделями;
- засвоєння основ конструювання і виготовлення прес-форм для лиття за витоплюваними моделями.

#### 1.1 Загальні відомості

В промислових умовах, при виготовленні виливків литтям за витоплюваними моделями, прес-форма – основний інструмент для отримання моделі виливка.

Класифікують прес-форми ЛВМ за дев'ятьма ознаками: за точністю, складністю, матеріалом прес-форм, способом виготовлення прес-форм, способом заповнення модельною масою, способом охолодження прес-форм, механізацією, кількістю моделей, що одноразово отримують у прес-формі, положенням площини роз'єму.

Прес-форма повинна забезпечити отримання якісних моделей за мінімально коротким часом. Вона повинна бути простою у виготовленні, зручною у експлуатації та обслуговуванні, надійною та довговічною.

Конструкція прес-форми, положення площини її роз'єму, матеріал формоутворюючих елементів, спосіб виготовлення залежать від серійності виробництва і прийнятого для виготовлення моделей обладнання.

Конструювання прес-форми починають з вибору матеріалу формоутворюючих деталей прес-форми. Для цього використовують такі матеріали: сталі вуглецеві 35, 45 та інструментальні У7, У8; алюмінієві сплави, АК9ч, АК2, Д16; легкоплавкі кольорові сплави: сплав Вуда, Розе, ЦАМ4-1; латунь; епоксидні пластмаси; еластичні матеріали: формо-пласти; гума; силікон; гіпс.

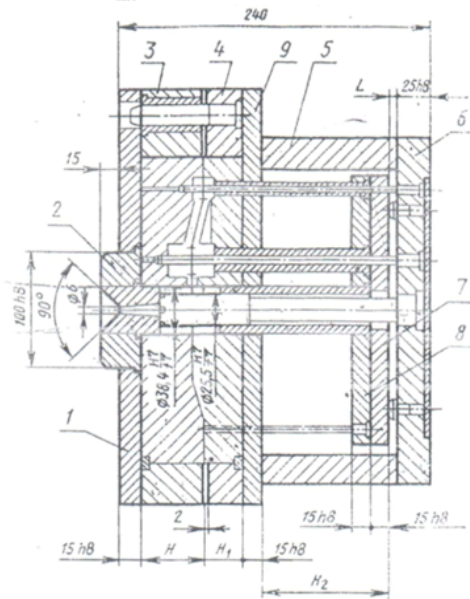
У великосерійному і масовому виробництві, при використанні для виготовлення моделей автоматів 653 та 655, прес-форми виконуються автоматизованими, з вертикальною площиною роз'єму. Вони складаються з рухомої і нерухомої частин (обойм), де

розташовані матриці, в яких виконані формоутворюючі порожнини прес-форми (рис. 1.1).

Такі прес-форми бувають одномісні для виготовлення моделей виливків, моделей ЛЖС, а частіше – багатомісні для виготовлення ланок моделей виливків одночасно з елементами ливниково-живильної системи.

В автоматизованих прес-формах отримують моделі з високою розмірною точністю. Елементи таких прес-форм виготовляють з прокату або поковок сталей 35, 45, У7, У8, У8А.

Для моделей простої конфігурації робочі порожнини виконують механічною обробкою безпосередньо в тілі плит (матриць). В інших випадках робочі порожнини виконують теж механічною обробкою у вставках, які монтують в спеціальні гнізда матриць і піджимають опорною та проміжною плитами.



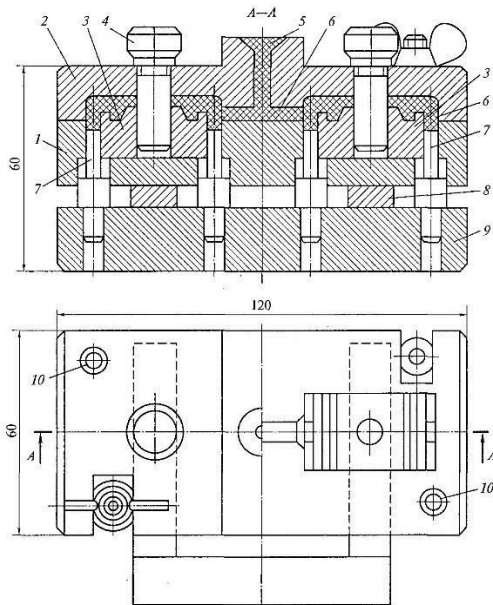
- 1 - плита опорна; 2 - втулка центруюча; 3 - плита рухома; 4 - плита нерухома;  
 5 - стійка; 6 - основа; 7 - плита притискна; 8 - плита виштовхувачів;  
 9 - плита проміжна

Рисунок 1.1 – Автоматизована прес-форма

В автоматизованих прес-формах внутрішні порожнини і отвори в моделях виконують рухомими і нерухомими металевими стрижнями. Рухомі стрижні встановлюють в нерухомій частині прес-форми, нерухомі – в рухомій.

Вилучення моделі з прес-форми виконується виштовхувачами, встановленими на плиті виштовхувачів, яка приводиться в дію підставкою автомата. В таких прес-формах виконуються також системи вентиляції і охолодження.

У середньосерійному виробництві, при використанні для виготовлення моделей шприц-машин або гідравлічних пресів, застосовують багатогніздові ручні прес-форми, виготовлені механічною обробкою. Формоутворюючі елементи в них виготовляють зі сталі і алюмінієвих сплавів: литих АК2, або деформівного Д16.



- 1 – нижня матриця; 2 – верхня знімна матриця; 3 – вставка;  
 4 – рухомий стрижень; 5 – ливниковий канал; 6 – живильники;  
 7 – виштовхувачі; 8 – фіксатор; 9 – плита основи; 10 – штирі напрямні

Рисунок 1.2 – Багатогніздова прес-форма для середньосерійного виробництва

Як правило, багатогніздові прес-форми мають горизонтальну поверхню роз'єму для зручності вилучення моделей, тому що збирання, розбирання і знімання моделей виконують вручну.

Прес-форма (рис.1.2) для двох моделей складається з нижньої і верхньої знімної матриць. Циліндричний отвір в моделі виконується рухомим стрижнем. Точність з'єднання матриць забезпечується напрямними штирями. Скріплюються матриці відкидними болтами з барашками.

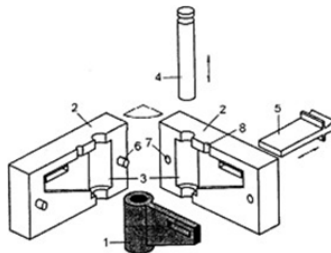
У дрібносерійному виробництві застосовують ручні прес-форми, виготовлені механічною обробкою. В таких прес-формах отримують моделі з достатньо високою точністю. Формоутворюючі елементи в них виготовляють з алюмінієвих сплавів: литих АК2, або деформівного Д16.

Напівформи скріплюють скобами або накидними болтами з «барашками». Внутрішні порожнини в моделях виконують рухомими металевими стрижнями, а також водорозчинними, керамічними, графітовими (для виливків з титану). В такій прес-формі передбачають знакові частини.

Центруються напівформи направляючими штирями і втулками.

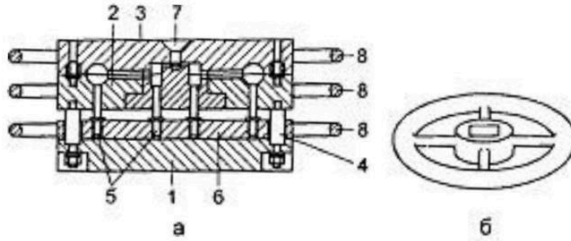
Напівформи можуть бути комбінованими, коли застосовують вкладиші з пластмаси, латуні, бронзи, сплаву Вуда або алюмінієвого сплаву.

Ручні прес-форми можуть бути як з вертикальною (рис. 1.3), так і з горизонтальною площиною роз'єму (рис. 1.4). Прес-форми з горизонтальним роз'ємом можуть бути оснащені виштовхувачами.



1 – модель вилівка; 2 – напівформи; 3 – робочі порожнини;  
4 – стрижень круглого перетину; 5 – стрижень прямокутного перетину;  
6 – направляючі штирі; 7 – направляючі втулки; 8 – ливниковий отвір

Рисунок 1.3 – Ручна прес-форма



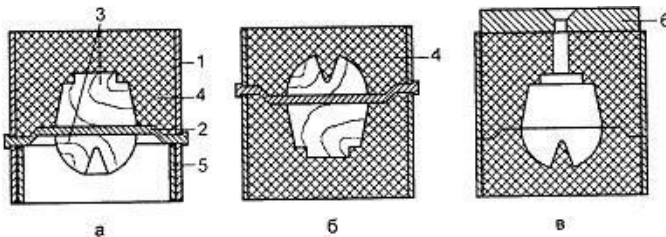
1 – опорна плита; 2 – нижня напівформа; 3 – верхня напівформа;  
4 – опорна стойка; 5 – виштовхувачі; 6 – рухома плита;  
7 – ливниковий отвір; 8 – рукоятки

Рисунок 1.4 – Ручна прес-форма з виштовхувачами (а), модель виливка (б)

У одиночному виробництві для виготовлення моделей виливків невеликої точності, нескладної конфігурації на шприц-машинах і гідравлічних пресах використовують прес-форми, виготовлені без механічної обробки робочих порожнин, литі.

Матеріал таких прес-форм: легкоплавкі кольорові сплави, гіпс, пластмаси, еластичні (гумоподібні) матеріали.

Спосіб виготовлення литих прес-форм, незалежно від матеріалу, який використовується, приблизно однаковий (рис 1.5): закріплюють майстер-модель (еталон моделі) на пластині, встановлюють обичайки, заливають будь-яким із вказаних матеріалів напівформу (а), перевертають і заливають другу напівформу (б), вилучають майстер-модель (в).



1 – обичайка; 2 – сталева пластина; 3 – еталон; 4 – гіпс;  
5 – опора; 6 – металева пластина

Рисунок 1.5 – Схема етапів виготовлення гіпсової прес-форми

Різниця тільки в положенні поверхні роз'єму: у прес-формах з легкоплавких сплавів роз'єм вертикальний, у всіх інших – горизонтальний; та у матеріалі еталона, наприклад, у гіпсових прес-форм він може бути навіть з пластиліну або глини, тоді як в інших – тільки металевий.

Літі прес-форми можуть бути також комбінованими. Спосіб виготовлення комбінованих прес-форм близький до розглянутого вище, тільки формують поверхні та площини роз'єму виконуються гальванопластикою, металізацією або напиленням.

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

При підготовці до лабораторної роботи студент повинен повторити наступний теоретичний матеріал, необхідний для розуміння сутності лабораторної роботи:

- особливості конструкцій автоматизованих і ручних прес-форм для ЛВМ;
- матеріали які використовуються для виготовлення формують і конструктивних елементів прес-форм;
- способи виготовлення прес-форм.

### **1.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи**

Перед початком виконання роботи студент повинен знати:

- фактори, які впливають на вибір матеріалу для прес-форм;
- фактори, які впливають на вибір способу виготовлення прес-форм ЛВМ;
- елементи центрування напівформ;
- механізми виштовхування моделей;
- поняття про модельну ланку;
- методи охолодження прес-форм;
- конструкції вентиляційних систем.

### **1.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання**

Для виконання лабораторної роботи надаються:

- прес-форми ручні металеві, пластмасова, комбінована;

- прес-форма автоматизована на виливок «Фланець»;
- креслення виливка «Фланець».

### **1.5 Порядок проведення лабораторної роботи**

Роботу виконувати в наступній послідовності:

- ознайомитись з конструкціями ручних прес-форм металевих, комбінованої, пластмасової;
- ознайомитись з автоматизованою прес-формою на виливок «Фланець» в зборі, визначити рухому і нерухому половини прес-форми;
- розібрати автоматизовану прес-форму, ознайомитись з конструкціями деталей, з яких складаються половини прес-форми, і їх призначенням;
- роздрукувати креслення виливка «Фланець», нанести на креслення елементи ливарної форми згідно з прес-формою;
- виконати ескіз ланки моделей виливка «Фланець» згідно з прес-формою;
- виконати ескіз прес-форми на виливок «Фланець» з визначенням всіх її елементів;
- оформити специфікацію визначених елементів з визначенням матеріалів для їх виготовлення.

### **1.6 Зміст звіту**

Звіт про виконану лабораторну роботу повинен містити:

- короткий опис конструкцій прес-форм для ЛВМ та способів їх виготовлення;
- ескіз виливка «Фланець» з елементами ливарної форми;
- ескіз ланки моделей виливка «Фланець»;
- ескіз прес-форми на виливок «Фланець»;
- специфікацію деталей прес-форми на виливок «Фланець» з визначенням матеріалів для їх виготовлення.

### 1.7 Рекомендована література

1) Технологічна оснастка ливарного виробництва [Текст] : навч. посіб. / А. М. Голофаєв та ін. – Луганськ: Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля. [б.в.], 2006. – 304 с.

2) Фесенко А. М. Технологія ливарної форми (ТЛФ) [Текст] : навч. посіб. до практ. занять і самост. роботи для студентів галузі знань 13 "Механічна інженерія" спец. 136 "Металургія" спеціалізації "Ливарне виробництво" / А. М. Фесенко – Краматорськ : ДДМА, каф. технологій і обладнання ливар. вир-ва, 2017. – 112 с.

## 2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### КОНСТРУЮВАННЯ І ВИГОТОВЛЕННЯ ПРЕС-ФОРМ ДЛЯ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

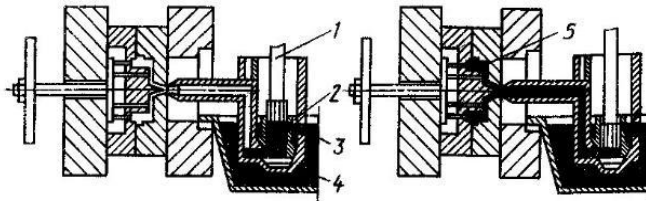
Виконання лабораторної роботи повинно забезпечити:

- знання конструкцій прес-форм для лиття під тиском;
- засвоєння основ конструювання і виготовлення технологічної оснастки для лиття під тиском.

#### 2.1 Загальні відомості

Литтям під тиском виготовляють складні по конфігурації виливки великої точності, з високою чистотою поверхні. Виготовлення виливків проводять на машинах лиття під тиском, які по принципу роботи камери пресування поділяють на машини з гарячою камерою пресування і машини з холодною камерою пресування.

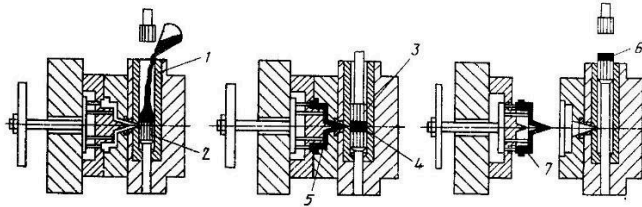
На машинах з гарячою камерою пресування виготовляють виливки зі сплавів, що не реагують з матеріалом деталей пресового механізму і металопроводу. Це сплави з температурою плавлення до 500 °С (свинець, олово), тобто сплави, з яких виливки для конструкційних деталей застосовуються рідко.



1 – поршень; 2 – камера пресування; 3 – заливний отвір;  
4 – тигель; 5 – прес-форма

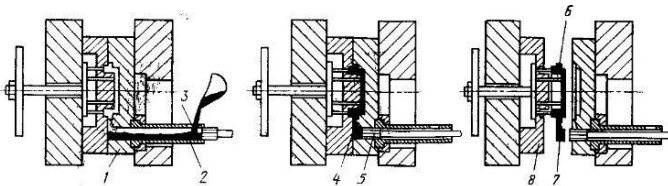
Рисунок 2.1 – Схема лиття під тиском на машинах з гарячою камерою пресування

Більшість машинобудівних виливків виготовляються на холоднокамерних машинах, які своєю чергою поділяються на машини з вертикальною і горизонтальною камерами пресування (рис. 2.2).



1 – камера пресування; 2 – п'ятка; 3 – поршень пресування;  
4 – ливникова втулка; 5 – прес-форма; 6 – пресзалишок

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



1 – нерухома половина прес-форми; 2 – камера пресування;  
3 – вікно; 4 – порожнина прес-форми; 5 – поршень пресування;  
6 – виливоч; 7 – пресзалишок

Рисунок 2.3 – Схема лиття під тиском на машинах з холодною горизонтальною камерою пресування

Найбільше використання в промисловості знайшли машини з горизонтальною холодною камерою пресування. Ливарні машини цієї підгрупи найбільш зручні в експлуатації і обслуговуванні.

Основним інструментом цього виду лиття, від якого в найбільшій мірі залежить якість виливків, є прес-форма.

Прес-форми для лиття під тиском дуже різноманітні, тому для полегшення конструювання і виготовлення їх класифікують за рядом ознак: за ступенем уніфікації, за лінією роз'єму, за габаритами і масою, за рівнем регулювання температури, за ступенем автоматизації, за кількістю виливків у прес-формі та ін. Можна класифікувати прес-форма ще за кількома ознаками, але вказаних вище ознак достатньо для визначення основних характерних прес-форми, необхідних для конструювання як прес-форми в цілому, так і комплектуючих її деталей.

Деталі прес-форм по їх призначенню поділяються на три групи:

- деталі, що утворюють робочу порожнину прес-форми (вкладиші матриць і пуансонів, вставки, стрижні, виштовхувачі);
- деталі металопроводу (стакани, втулки, наконечники пресуючого плунжера, п'ятки, розсікачі);
- деталі конструктивного призначення (плити або обойми матриць і пуансонів, плити виштовхувачів, колонки, втулки, упори та ін..).

Деталі першої групи визначають стійкість прес-форм, а також якість виливків, інші – роботоздатність прес-форм.

Для виготовлення прес-форм застосовується дуже багато матеріалів. Це і високолеговані хромомолібденванадієві та хромовольфрамванадієві сталі, високовуглецеві інструментальні, економнолеговані та вуглецеві конструкційні сталі. Найбільш застосовувані матеріали наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Матеріали прес-форм

Деталі прес-форми	Марки сталей
Вкладиші, вставки	3Х2 В8Ф, 4ХВ2С, 4Х8В2, 4Х5В2ФС, 4Х5В4ФСМ, 3Х5МФС, 38Х5МВСФ, 3Х3М3Ф, 5ХНМ
Стрижні	У8А, У10А, 4Х2В8Ф, 5ХНМ, 4ХВС, 3Х2В8Ф, Х12М
Виштовхувачі	У10А, У12А, 3Х2В8Ф, 4Х5МФС
Стакани, втулки, наконечники, розсікачі	3Х2Ф8Ф
Плити обойм матриць, пуансонів, виштовхувачів, підкладні	40, 45, 50 Ст3, Ст5, Ст6
Колонки, втулки	У7, У8

Крім вказаних вище основних деталей, прес-форми для складних виливків мають ще цілий ряд деталей, які входять у склад механізмів для автоматизації роботи прес-форм. Від надійної їх роботи залежить працездатність прес-форм, продуктивність роботи, вартість виливків.

Це такі механізми:

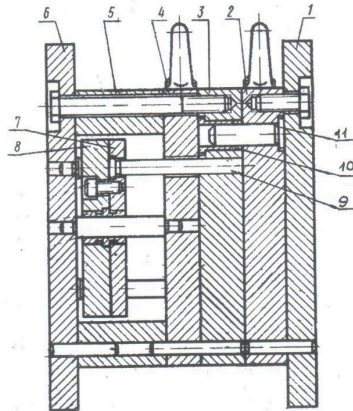
- приводів стрижнів;
- приводів виштовхувачів;
- підігріву і охолодження прес-форм;
- змащування і очищення прес-форм;

При конструюванні прес-форм слід приділяти особливу увагу цим механізмам.

Також, слід не забувати про уніфікацію і нормалізацію складових частин механізмів прес-форм. Це значно скорочує час конструювання і виготовлення прес-форм, знижує вартість виливків. Суть нормалізації прес-форм зводиться до обмеження конструкцій їх вузлів і механізмів. Нормалізуються виштовхувачі, стрижні, плити, направляючі колонки і втулки, вкладиші, приводи виштовхувачів і стрижнів та ін..

Для однотипних виливків розробляють постійний комплект деталей і вузлів, для конкретного вилівка конструюють тільки вкладиші. Деталі комплектів однакові по своїй конструкції, тому їх виготовляють заздалегідь, застосовуючи типові технологічні процеси і групуову оснастку.

Ще більшу ефективність можна отримати при використанні найбільш вдосконаленої уніфікації – блоків універсальних(рис. 2.4).



- 1 – плита кріплення нерухома; 2 – плита нерухома; 3 – плита рухома;  
 4 – літа підкладна; 5 – стійка; 6 – плита кріплення рухома; 7 – плита виштовхувачів; 8 – плита зйому; 9 – колонка; 10 – втулка; 11 – колонка

Рисунок 2.4 – Блок універсальний прес-форм лиття під тиском

Блок складається з комплекту деталей і вузлів, в обіймах якого є гнізда під змінні вкладиші. Блок постійно закріплений на машині. Міняють тільки вкладиші на виливки даної групи. Трудомісткість проектування прес-форм знижується на 30%, а трудомісткість їх виготовлення – на 25%. До речі, процес виготовлення прес-форм для лиття під тиском є дуже трудомістким. Вартість їх виготовлення інколи сягає кількох мільйонів гривень. Надвеликі прес-форми (США) мають масу (3,0 - 4,5) т. Такі прес-форми виготовляють понад рік.

Найбільш розповсюджений спосіб виготовлення деталей прес-форм – механічною обробкою. Це стосується в першу чергу найбільш важливих деталей прес-форм, – вкладишів, – які мають найчастіше дуже складну конфігурацію робочих порожнин. Цей спосіб дозволяє отримати високу розмірну точність вилівка, але він дуже трудомісткий. Крім того, стійкість вкладишів, отриманих механічною обробкою, нижче, ніж отриманих іншими способами.

В теперішній час для підвищення стійкості механічно оброблених вкладишів використовують або традиційні сталі після інтенсивного кування, або сучасні високолеговані сталі. Але вони погано піддаються механічній обробці. Тому, для підвищення точності, зниження трудомісткості використовують верстати ЧПУ з сучасним абразивним інструментом. Достатньо високі значення стійкості показують вкладиші, робочі порожнини яких отримують методом холодного видавлювання. Однак, цей спосіб отримання вкладишів зі сталі 3Х2В8Ф вимагає великої потужності пресів, навіть при виготовленні вкладишів для дрібних виливків.

Наступний спосіб виготовлення вкладишів – литтям. Використовують лиття за витоплюваними моделями, в оболонкові форми, Шоу-процес. Стійкість литих вкладишів близька до стійкості кованих і оброблених механічно, а коштом економії високолегованої сталі і зниження механічної обробки вартість литих вкладишів на (20 - 40) % нижча, ніж кованих. Недолік – нижча точність.

Достатньо високі результати по стійкості мають вкладиші, виготовлені з твердих сплавів ВК8, ВК15, ВК30 з обробкою робочої порожнини електроіскровим, а потім електроерозійним способами.

В останні роки для виготовлення вкладишів починають використовувати адитивні технології – технології «вирощування» вкладишів без будь-яких моделей, штампів, металорізальних інструментів та ін., а завдяки комп'ютерним технологіям.

Для підвищення стійкості прес-форм, особливо механічно оброблених, при конструюванні необхідно передбачити захист робочих поверхонь від руйнування під дією високих температур, деформацій, хімічної взаємодії з рідким металом.

Для захисту робочих поверхонь застосовують захисні покриття:

- хіміко-термічна обробка;
- електрохімічні і хімічні покриття;
- металізація;
- електролітичні покриття.

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

При підготовці до лабораторної роботи студент повинен повторити теоретичні матеріали:

- особливості конструкцій холоднокамерних прес-форм з вертикальною і горизонтальною камерами пресування;
- деталі прес-форм для ЛПТ: формоутворюючі, металопроводу, конструктивні;
- матеріали для виготовлення деталей прес-форм;
- конструкції вентиляційних систем;
- елементи центрування напівформ.

## **2.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи**

Перед початком виконання роботи студент повинен знати:

- основні конструктивні елементи прес-форм і їх призначення;
- які існують основні деталі і механізми форм;
- матеріали для виготовлення деталей прес-форм;
- для чого необхідне охолодження прес-форм;
- які існують допуски на розміри прес-форми і значення шорсткості поверхні робочої порожнини.

## **2.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання**

Для виконання лабораторної роботи надаються:

- креслення виливка «Кришка центрифуги»;
- прес-форма на виливок «Кришка центрифуги»;

- документація на універсальні прес-форми для лиття під тиском.

## **2.5 Порядок проведення лабораторної роботи**

Роботу виконувати в наступній послідовності:

- ознайомитись із конструкцією прес-форми на виливок «Кришка центрифуги» в зборі, визначити для якого типу машин вона призначена, визначити її рухому і нерухому половини;
- розібрати прес-форму, ознайомитись з деталями і механізмами прес-форми;
- роздрукувати креслення вилівка «Кришка центрифуги», згідно з прес-формою нанести елементи ливарної форми;
- виконати ескіз прес-форми з визначенням основних деталей і способами їх виготовлення;
- оформити специфікацію на основні деталі з позначенням матеріалу для їх виготовлення.

## **2.6 Зміст звіту**

Звіт на виконану лабораторну роботу повинен містити:

- загальні відомості про прес-форми для лиття під тиском;
- опис конструкції прес-форми для вилівка «Кришка центрифуги», для якого типу машин ЛПТ вона призначена;
- ескіз вилівка з елементами ливарної форми, ескіз прес-форми;
- специфікація основних деталей прес-форми.

## **2.7 Рекомендована література**

1) Технологічна оснастка ливарного виробництва [Текст] : навч. посіб. / А. М. Голофаєв та ін. – Луганськ: Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля. [б.в.], 2006. – 304 с.

2) Фесенко А. М. Технологія ливарної форми (ТЛФ) [Текст] : навч. посіб. до практ. занять і самост. роботи для студентів галузі знань 13 "Механічна інженерія" спец. 136 "Металургія" спеціалізації "Ливарне виробництво" / А. М. Фесенко – Краматорськ : ДДМА, каф. технологій і обладнання ливар. вир-ва, 2017. – 112 с.

### 3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

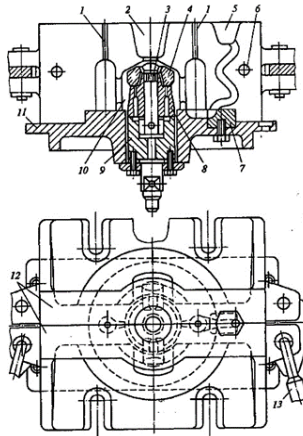
## КОНСТРУЮВАННЯ І ВИГОТОВЛЕННЯ КОКІЛІВ

Виконання лабораторної роботи повинно забезпечити:

- знання конструкцій кокілів;
- вміння обирати матеріал для деталей кокілю;
- засвоєння основ конструювання і виготовлення кокілів.

#### 3.1 Загальні відомості

Кокіль – металева форма з природним або примусовим охолодженням, яка заповнюється розплавленим металом під дією гравітаційних сил. Найчастіше кокіль складається з двох половин і плити, на яку вони спираються. Половини кокілю взаємно центруються штирями і скріпляються замками. Порожнини і отвори у виливках можуть бути виконаними металевими і піщаними стрижнями (рис. 3.1).



- 1 - вентиляційні канали; 2 - додаток; 3 - вентиляційна пробка; 4 - піщаний стрижень; 5 - ливникова система; 6 - штир центруючий; 7 - вставка; 8 - металевий стрижень; 9 - вентиляційний канал; 10 - порожнина форми; 11 - плита; 12 - напівформи; 13 - замок

Рисунок 3.1 – Кокіль

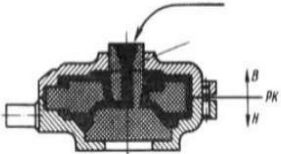
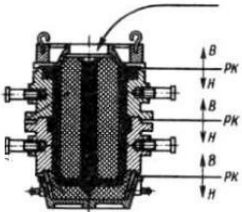
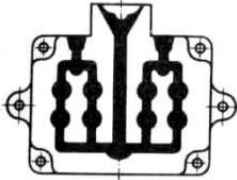
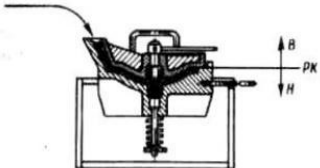
Класифікуються кокілі за наступними ознаками (таблиця 3.1.)

Таблиця 3.1 - Класифікація кокілів

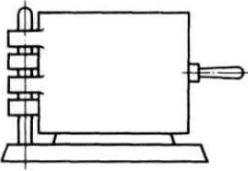
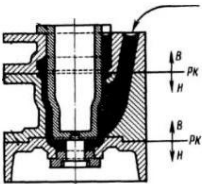
Класифікаційна ознака	Різновиди кокілів
За формою половин кокілю	1) Плоскі 2) Циліндричні
По розташуванню в просторі поверхні рознімання	1) Нерознімні (що витрушуються) 2) З горизонтальною площиною рознімання 3) З вертикальною площиною рознімання 4) З комбінованою площиною рознімання
По числу робочих гнізд	1) Одномісні 2) Багатомісні
По конструктивному виконанню робочої стінки	1) Цільні 2) Складені: - з неуніфікованих елементів; - з уніфікованих елементів
По способу охолодження	1) Охолоджувані повітрям (природним і примусовим) 2) З рідинним охолодженням (водяним, масляним та ін.) 3) З комбінованим охолодженням (водоповітряним, водяним і повітряним, що чергуються та ін.)
По способу підведення охолоджуючої речовини до робочої стінки	1) Одношарові 2) Двошарові
По матеріалу робочої стінки	1) Чавунні 2) Сталеві 3) З алюмінієвих сплавів 4) З мідних сплавів 5) Зі спеціальних сплавів 6) З композиційних матеріалів
По довговічності теплоізоляційного покриття	1) З покриттям, що періодично наноситься 2) З постійним покриттям: плазменним напиленням (з чавуну і сталі), з анодованим покриттям (з алюмінієвих сплавів)

Рознімні кокілі своєю чергою класифікуються за конструктивним виконанням (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - Класифікація рознімних кокілів по конструктивному виконанню

Тип рознімання кокілю	Призначення кокілю
З одним горизонтальним розніманням	
	<p>Для виробництва виливків невеликої висоти. Ливникова система відсутня або виконується у піщаному стрижні</p>
З трьома горизонтальними розніманнями	
	<p>Для виробництва складних високих виливків. Ливникова система виконується в піщаному стрижні</p>
З одним вертикальним розніманням	
	<p>Для виробництва виливків у ручних кокілях і кокілях на універсальних верстатах. Ливникова система виконується по розніманню в стінках кокілю або у піщаному стрижні</p>
З криволінійним розніманням	
	<p>Для виробництва складних виливків. Ливникова система виконується по розніманню в стінках кокілю</p>

Кінець таблиці 3.2

Тип рознімання кокілю	Призначення кокілю
Зі стулковим розніманням	
	<p>Для виробництва виливків, що мають форму тіл обертання. Ливникова система виконується по розніманню у стінках кокілю</p>
З комбінованим розніманням	
	<p>Для виробництва складних виливків. Ливникова система виконується по розніманню в стінках кокілю</p>

Конструкція кокілю повинна бути максимально простою, технологічною у виготовленні і експлуатації і за якнайменших витрат забезпечувати можливість отримання заданої якості виливків.

До основних елементів конструкції кокілів відносяться:

- формоутворюючі елементи: половини кокілів, нижні плити (піддони), вставки, стрижні;
- конструктивні елементи: виштовхувачі, плити виштовхувачів, системи нагрівання і охолодження, вентиляційні системи, centruючі штирі і втулки.

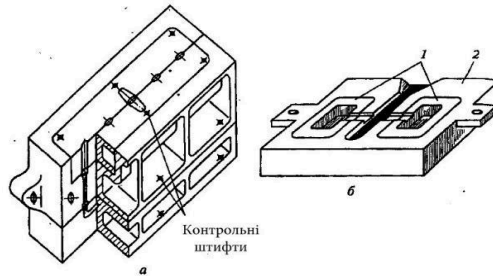
При конструюванні кокілю роз'єм кокілю бажано виконувати плоским, кількість рухомих і від'ємних частин повинна бути мінімальною.

Розміри половини кокілю повинні бути достатніми для розміщення виливка з ливниково-живильною системою. Відстань від робочої порожнини до краю кокілю приймають не менше (30 - 40) мм, а в місці ливникової системи – 70 мм.

Розміри машинного кокілю повинні дозволяти розміщувати його на плитах кількох машин.

Контури стінок кокілю повинні по можливості повторювати контури виливка для підвищення його стійкості і полегшення управління тепловим режимом.

Для складних великих виливків кокіль роблять не суцільним, а розчленовують його на частини для зменшення термічних напружень і запобіганню жолобленню.



а - кокіль зі складними стінками; б - кокіль із вставками

Рисунок 3.2 – Кокіль із розчленуванням стінок

В процесі експлуатації у кокілі виникають значні термічні напруження. Тому матеріали частин кокілю, що стикаються з розплавом, повинні добре протистояти термічній втомі, мати високі механічні властивості, мінімальні структурні перетворення, володіти високими ростостійкістю і окалинотійкістю, добре оброблятися, бути не дефіцитними і недорогими. Таким вимогам найбільше відповідають:

- сірі чавуни СЧ200, СЧ250 – для половин кокілів для дрібних, середніх виливків з алюмінієвих, магнієвих, мідних сплавів, чавуну;
- високоміцні чавуни ВЧ-400-15, ВЧ-450-10 – для половин кокілів для дрібних, середніх, великих і особливо великих виливків з алюмінієвих, магнієвих, мідних сплавів, чавуну, сталі;
- сталі 10, 20, Ст.3, 15Л, 15ХМЛ та ін. – для половин кокілів для дрібних, середніх, великих і особливо великих виливків із чавуну, сталі, алюмінієвих, магнієвих, мідних сплавів;
- мідь та її сплави, леговані сталі – для вставок, та масивних стрижнів, (для інтенсивного охолодження);

- силуміни АК7ч, АК7Ц9 – для водоохолоджуваних кокілів для дрібних виливків з алюмінієвих, мідних сплавів;
- сталі 45, 30ХГС, 35 ХНМ – для стрижнів, вставок;
- сталі У8А, У10А – для виштовхувачів;
- сталь 25 – для ексцентриків, осей валів.

Виготовляють кокілі механічною обробкою або литтям:

- для дрібних виливків з алюмінієвих, магнієвих, цинкових сплавів – з литих чавунних заготовок або сталевих поковок механічною обробкою;

- великі кокілі виготовляють литими з чавуну або сталі без механічної обробки, тільки з зачисткою робочих поверхонь. Литя поверхня забезпечує підвищення стійкості кокілю.

Моделі для виготовлення литих кокілів можуть бути з будь-якою матеріалу, навіть гіпсові, інколи використовують відпрацьовані деталі кокілів.

Ливарні форми для литих кокілів можуть бути:

- піщані по  $\text{CO}_2$  – процесу – для сталевих кокілів;
- піщано-глинисті, оболонкові – для чавунних кокілів;
- керамічні по Шоу-процесу – для чавунних і сталевих кокілів з високими вимогами до точності робочих поверхонь;
- напівкокілі – для чавунних і сталевих кокілів з оформленням робочої поверхні нижньою металевою напівформою.

Інколи, для поліпшення податливості кокілю його формоутворюючі половини виконують або з багат шарових сталевих листів з прокладками з наступною механічною обробкою, або з дроту без механічної обробки.

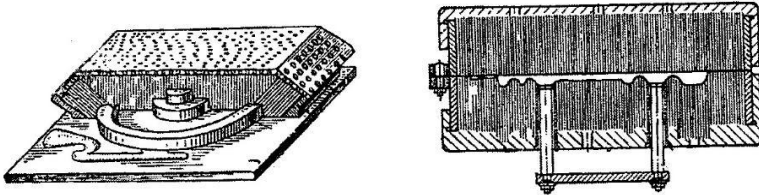


Рисунок 3.3 – Податливі кокілі із дротяних елементів

Для підвищення стійкості кокілів, при їх конструюванні, слід передбачити постійні покриття робочих поверхонь, крім вогнетривких

покриттів, які будуть передбачені при розробці технології лиття. Найбільше на практиці застосовується високотемпературне плазменне, та газополум'яне напилення неметалевими матеріалами ( $Al_2O_3$ ,  $ZnO_2$  та ін.).

Для алюмінієвих кокілів анодування анодною плівкою зі сплаву Al9 є обов'язковим.

Для запобігання утворенню щілин по роз'єму кокілю під дією динамічного і статичного тиску розплаву при заливанні і твердінні необхідно передбачити механізм запирання.

При твердінні і охолодженні вилівка він затискається в кокілі і стрижні обтискаються вилівком. Тому при розробці технології лиття передбачають підрив стрижнів, а при конструюванні кокілю для цього проектують виштовхувачі.

### 3.2 Завдання на підготовку до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи студент повинен повторити наступний теоретичний матеріал, необхідний для розуміння сутності лабораторної роботи:

- особливості конструкцій кокілів;
- матеріали, які використовуються для виготовлення формоутворюючих і конструктивних елементів кокілів;
- способи виготовлення кокілів;
- призначення штирів, втулок, ребер;
- методи охолодження кокілів;
- методи запобігання жолобленню кокілю;
- конструкції механізмів виштовхування вилівоків;
- методи фіксації половинок кокілю;
- вентиляційні системи кокілів.

### 3.3 Контрольні запитання для самоперевірки і контролю підготовленості студентів до роботи

Перед початком виконання роботи студент повинен знати:

- які елементи кокілю наносяться на креслення вилівка;
- від чого залежить товщина стінки кокілю;
- як призначають вентиляцію кокілю;

- з яких матеріалів виготовляють кокілі і яка їх стійкість залежно від матеріалу і маси вироблених виливків;
- які різновиди кокілів застосовують для литва виливків;
- навіщо підігрівають кокілі перед заливкою;
- які механізми має кокільний верстат;
- способи виготовлення кокілів.

### **3.4 Матеріали, інструмент, прилади, обладнання**

Для виконання лабораторної роботи надаються:

- ручний кокіль на виливок «Поршень»;
- механізований кокіль на виливок «Корпус»;
- креслення виливка «Корпус».

### **3.5 Порядок проведення лабораторної роботи**

Роботу необхідно виконувати в послідовності:

- ознайомитися з конструкціями кокілів на виливки «Поршень» і «Корпус»;
- отримати у викладача креслення виливка «Корпус»;
- нанести на креслення виливка елементи ливарної форми;
- виконати ескіз кокілю з визначенням основних деталей;
- визначити матеріали для виготовлення основних деталей кокілю;
- обрати спосіб виготовлення формуютьючих деталей кокілю.

### **3.6 Зміст звіту**

Звіт про виконану роботу повинен містити:

- короткий опис видів і конструкцій кокілів;
- креслення виливка «Корпус» з елементами ливарної форми ;
- ескіз кокілю на виливок «Корпус»;
- специфікацію деталей кокілю з визначенням матеріалів, видами заготовок і способами виготовлення формуютьючих деталей кокілю.

### 3.7 Рекомендована література

- 1) Технологічна оснастка ливарного виробництва [Текст] : навч. посіб. / А. М. Голофаєв та ін. – Луганськ: Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля. [б.в.], 2006. – 304 с.
- 2) Фесенко А. М. Технологія ливарної форми (ТЛФ) [Текст] : навч. посіб. до практ. занять і самост. роботи для студентів галузі знань 13 "Механічна інженерія" спец. 136 "Металургія" спеціалізації "Ливарне виробництво" / А. М. Фесенко – Краматорськ : ДДМА, каф. технологій і обладнання ливар. вир-ва, 2017. – 112 с.

## 4 ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

### ТЕХНОЛОГІЧНІ І КОНСТРУКТИВНІ РОЗРАХУНКИ ПРИ КОНСТРУЮВАННІ ПРЕС-ФОРМ ЛИТТЯ ЗА ВИТОПЛЮВАНИМИ МОДЕЛЯМИ

Виконання практичної роботи повинно забезпечити:

- вміння проводити розрахунки ливниково-живильної системи I типу та елементів блока моделей;
- засвоєння основ розрахунків розмірів робочої порожнини прес-форм ЛВМ.

#### 4.1 Загальні відомості

Застосування автоматизованих прес-форм у великосерійному і масовому виробництві для виготовлення модельних ланок ЛВМ на карусельних автоматах забезпечує можливість виготовлення з будь-яких ливарних сплавів фасонних виливків, у тому числі складних по конфігурації і тонкостінних, з шорсткістю поверхні від  $R_z = 20$  мкм до  $R_z = 1,25$  мкм і підвищеною точністю до (3 - 5) класів точності по ДСТУ 8981:2020. Це дозволяє отримувати виливки, максимально наближені за формою і розмірам до готової деталі, а у ряді випадків, і таких, що не потребують обробки різанням. В результаті значно знижується трудомісткість і вартість виготовлення виробів, зменшуються витрати матеріалів і інструмента, потреба у виробничих площах, верстатному обладнанні і пристосуваннях, зменшується енергомісткість виробництва, а також потреба у робітниках – верстатниках високої кваліфікації. Також це дозволяє проектувати складні тонкостінні деталі з товщиною стінки 1 мм і менше, об'єднувати окремі деталі в компактні цільнолиті вузли, зменшувати масу і габаритні розміри виробів.

Формоутворюючі деталі автоматизованих прес-форм сталеві. Прості деталі виготовляють обробкою різанням, складні – литтям з наступним доведенням різанням, шліфуванням. Переміщення стрижнів, матриць і запирання прес-форм здійснюється рейковими, гвинтовими, пневматичними механізмами. Прес-форми, як правило, виконують з вертикальним роз'ємом.

В матрицях монтують змінні вкладиші з формоутворюючими порожнинами, що збільшує тривалість експлуатації прес-форми. Для скорочення циклу виготовлення моделі в стінках прес-форми виконують канали водяного охолодження. Порожнини складної конфігурації, глухі кишені прес-форми вентилують за допомогою вузьких каналів по роз'єму або по стрижнях.

Таким чином, автоматизована прес-форма є достатньо складним механізмом, і найбільш відповідальним інструментом для виготовлення моделей, головна вимога до якого полягає у тому, щоб в ній можна було отримати моделі виливків із заданими точністю розмірів і шорсткістю поверхні. Точність розмірів моделі і якість відтворення її конфігурації залежать від точності розмірів порожнини прес-форми, якісного заповнення її модельною масою, що крім оптимально розробленої конструкції прес-форми забезпечується і правильно виконаними технологічними і конструктивними розрахунками параметрів, починаючи ще з видачі технологом технічного завдання на проектування і при виконанні конструкторських робіт. Це розрахунки розмірів елементів ЛЖС, елементів блока моделей, розмірів робочої порожнини, та ін.

**Розрахунки розмірів елементів ЛЖС.** Ливниково-живильна система при литті за витоплюваними моделями призначена для заповнення форми розплавом, живлення вилівка, що твердіє, а також часто є конструкцією, на якій монтуються моделі. Розрізняють три типи ливниково-живильних систем: I тип – з центральним стояком, II тип – з місцевими додатками і III тип – з верхнім додатком. Ливниково-живильна система в блоках, зібраних з ланок, виготовлених в автоматизованій прес-формі, відноситься до ЛЖС I типу, в яких стояк є центральним елементом при збиранні моделей і додатком для живлення виливків.

Розрахунок елементів ливниково-живильних систем всіх типів заснований на принципі послідовного затвердіння. Для ЛЖС I типу з масою виливків до 3,5 кг цей принцип реалізується методом розрахунків по модулю охолодження. Для II-го і III-го типів ЛЖС - використовується метод вписаних сфер.

Метод по модулю охолодження для I типу ЛЖС заснований на виборі оптимальних співвідношень приведених товщин (відношення площі перетину до його перетину) масивного вузла вилівка, який треба підживлювати, і живлячих елементів ЛЖС, при яких

забезпечується отримання вільних від усадкових раковин та пор виливків внаслідок направленості твердіння від виливка до живлячого її стояка. Для отримання щільного металу у виливку необхідно визначити розміри живильника і стояка, щоб забезпечувалося співвідношення:

$$R_{ст} > R_{ж} > R_o,$$

де  $R_{ст}$ ,  $R_{ж}$  і  $R_o$  - відповідно, приведені товщини (модулі охолодження) стояка, живильника і масивного вузла виливка, мм.

Послідовність розрахунку: визначають приведену товщину  $R_o$  масивного вузла виливка, який треба підживлювати, потім за вимогами технології (можливості відокремлення виливка від ЛЖС) обирають довжину живильника  $l_{жс}$  ( $l_{жс} = 4 - 10$  мм), по параметрам  $R_o$  і  $l_{жс}$  по таблиці з практичними рекомендаціями (табл. 4.1) визначають діаметр стояка  $D_{ст}$  і приведену товщину перетину живильника  $R_{жс}$ .

Потім обирають найбільш раціональну форму перетину живильника (коло або прямокутник) і по таблиці з практичними рекомендаціями (табл. 4.2) обирають розміри перетину живильника, які можуть бути вписані в місце підводу живильника.



Кінець таблиці 4.1

Маса випливу, кг	Модулі охолодження термічного вузла випливу, мм														
	4,2			4,6			5,1			5,8			6,7		
	$D_{ст},$ мм	$R_{жс},$ мм		$D_{ст},$ мм	$R_{жс},$ мм		$D_{ст},$ мм	$R_{жс},$ мм		$D_{ст},$ мм	$R_{жс},$ мм		$D_{ст},$ мм	$R_{жс},$ мм	
	4 - 6	8 - 10		4 - 6	8 - 10		4 - 6	8 - 10		4 - 6	8 - 10		4 - 6	8 - 10	
до 0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,05 - 0,10	32	4,00	5,00	36	3,50	4,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,10 - 0,20	36	4,00	5,00	40	3,75	4,75	40	4,00	5,25	40	4,50	5,50	-	-	-
0,20 - 0,30	40	4,00	5,00		4,25	5,25		4,50	5,75		4,50	5,50	-	-	-
0,30 - 0,50		4,50	5,50		4,75	6,00		5,00	6,50		5,00	6,25	-	-	-
0,50 - 0,75		6,00	7,00	7,00	7,25	45	6,00	7,00	6,75	7,75	50	6,75	7,75		
0,75 - 1,00	6,25	7,25	6,00	7,00	6,75		7,50	7,25	8,25	7,25		8,25			
1,00 - 1,50	45	6,25	7,25	45	6,75	7,75	50	7,00	8,00	50	7,25	8,25	56	7,25	8,25
1,50 - 2,00	-	-	-		7,25	8,25		7,25	-		7,25	9,00		7,25	9,00
2,00 - 2,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	7,50	8,75	56	7,50	8,75
2,50 - 3,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,75	9,00
3,00 - 3,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,25	9,50

Таблиця 4.2 - Значення перетинів живильників

Модулі охолодження живильників, мм	Розміри прямокутних перетинів живильників, мм					
	2,0	8 x 8	6,6 x 10	6 x 12	5,3 x 16	5 x 20
2,5	10 x 10	8,3 x 12,5	7,5 x 15	6,6 x 20	6,2 x 25	6 x 30
3,0	12 x 12	10 x 15	9 x 18	8 x 24	7,5 x 30	7,2 x 36
3,5	14 x 14	11,6 x 17,5	10,5 x 21	9,3 x 28	8,7 x 35	8,4 x 42
4,0	16 x 16	13,3 x 20	12 x 24	10,6 x 32	10 x 40	9,6 x 48
4,5	18 x 18	15 x 22,5	13,5 x 27	12 x 36	11,2 x 45	10,8 x 54
5,0	20 x 20	16,6 x 25	15 x 30	13,3 x 40	12,5 x 50	12 x 60
5,5	22 x 22	18,3 x 27,5	16,5 x 33	14,6 x 44	13,7 x 50	13,2 x 66
6,0	24 x 24	20 x 30	18 x 36	16 x 48	15 x 60	14,4 x 72
6,5	26 x 26	21,6 x 32,5	19,5 x 39	17,3 x 52	16,2 x 65	15,6 x 78
7,0	28 x 28	23,3 x 35	21 x 42	18,6 x 56	17,5 x 70	16,8 x 84
7,5	30 x 30	25 x 37,5	22,5 x 45	20 x 60	18,7 x 75	18 x 90
8,0	32 x 32	26,6 x 40	24 x 48	21,3 x 64	20 x 80	19,2 x 96
8,5	34 x 34	28,3 x 42,5	25,5 x 51	22,6 x 68	21,2 x 85	20,4 x 102
9,0	36 x 36	30 x 45	27 x 54	24 x 72	22,5 x 90	21,6 x 108
9,5	38 x 38	31,6 x 47,5	28,5 x 57	25,3 x 76	23,7 x 95	22,8 x 114
10	40 x 40	33,3 x 50	30 x 60	26,6 x 80	25 x 100	24 x 120

**Приклад.** Розрахувати розміри елементів ливниково-живильної системи для вилівка «Петля» (рис. 4.1), матеріал – сталь 35Л, маса вилівка 185 г.

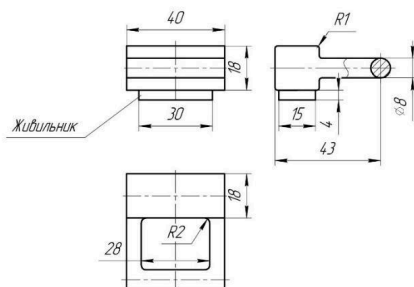


Рисунок 4.1 - Ескіз вилівка «Петля»

Розраховуємо приведену товщину (модуль) теплового вузла  $R_o$ . Тепловий вузол являє собою брус зі сторонами 18 мм x 18 мм, довжиною 40 мм. Живильник підведений до довгої сторони бруса. Розміри перетину, перпендикулярного напрямку підводу метала:  $a = 18$  мм,  $b = 40$  мм. Площа перетину  $a \times b$ , периметр перетину  $2(a + b)$ , тоді:

$$R_o = \frac{a \cdot b}{2(a+b)} = \frac{18 \cdot 40}{2(18+40)} = 6,2 \text{ мм}$$

По таблиці 4.1 визначаємо діаметр стояка  $D_{ст} = 40$  мм і приведену товщину перетину живильника  $R_{жс} = 5,5$  мм.

По таблиці 4.2 обираємо розміри перетину живильника, які можуть бути вписані в місце підводу живильника: 16,5 мм x 33 мм.

**Розрахунки елементів блока моделей.** При конструюванні блока з ланок, виготовлених в автоматизованій прес-формі, необхідно враховувати, що разом з вимогами його компактності повинні бути враховані і такі технологічні вимоги, як зручність збирання моделей у блок, відокремлення виливків від ливників та ін. Так, при збиранні блока з ланок на стояк-каркас (рис. 4.2) відстань  $h$  від рівня металу в ливниковій чаші до верхньої частини виливків першого ярусу, яка характеризує статичний натиск розплаву в момент закінчення заповнення оболонки, що забезпечує заповнення верхньої частини порожнини форми, повинна бути не менше (60 - 70) мм для простих виливків з товщиною стінки (2 - 3) мм і більше, а для тонкостінних виливків – (110 - 120) мм.

Відстані  $a$  і  $b$  між окремими виливками в кожному ярусі і між ярусами (рис. 4.3) повинні бути такими, щоб при формуванні керамічної оболонки забезпечувалася можливість нанесення рівномірних по товщині шарів суспензії, обсіпки і сушіння шарів кожного з них. Крім того, необхідно виключити теплову дію сусідніх виливків, зручність їх відокремлення від ЛЖС без ушкоджень. Зазвичай, при виготовленні дрібних виливків у чотирьох-п'ятишарових оболонках мінімальна відстань,  $a = (8 - 10)$  мм;  $b = (10 - 15)$  мм.

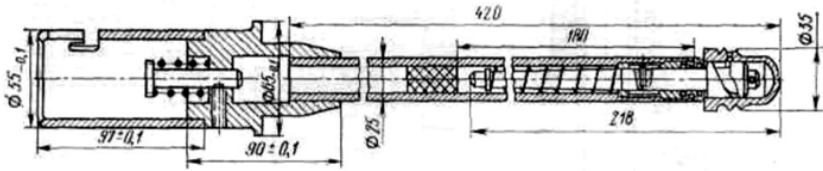


Рисунок 4.2 – Стояк-каркас для ланкового складання моделей в блок

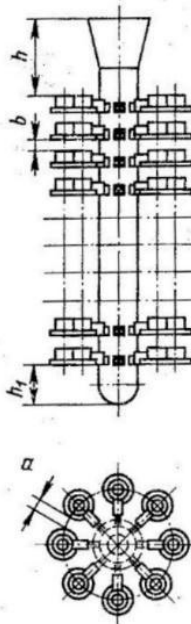


Рисунок 4.3 – Конструктивні розміри блока моделей

Дотримання рекомендацій по цим показникам забезпечується при конструюванні ланки моделей. Розмір « $a$ » регулюється кількістю моделей у ланці, розмір « $b$ » - висотою втулки, яка оформлює стояк у ланці (рис. 4.4). Висота втулки  $L$  обирається з урахуванням довжини робочої частини стояка (420 мм), розмірів моделей і числа ланок, складених у блок. При цьому також треба передбачати зумпф в нижній

частині стояка з відстанню від півсферичного його закінчення до найближчої втулки  $h_1 = (30 - 40)$  мм (рис. 4.5).

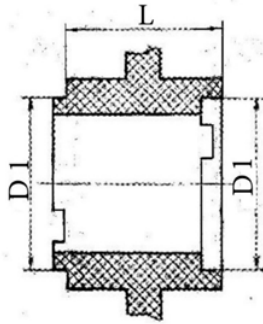


Рисунок 4.4 – Втулка ланки моделей

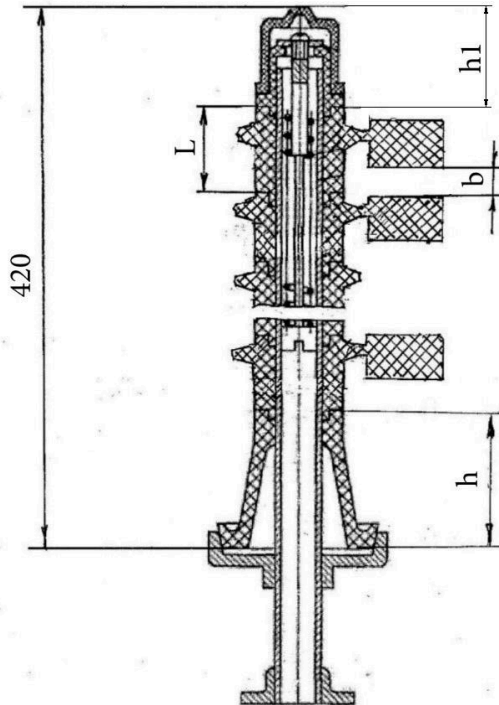


Рисунок 4.5 – Блок моделей, зібраний з ланок

### Розрахунки розмірів робочої порожнини прес-форми.

Проводять з урахуванням значень усадок модельної маси, метала виливка, керамічної оболонки при прожарюванні, а також значень збільшення розмірів форми при нагріванні під заливання, при нагріванні розплавом, розширенні керамічної оболонки при сушінні.

У зв'язку зі складністю проведення точних розрахунків розмірів формоутворюючих порожнин, на практиці користуються спрощеною формою для цих розрахунків:

$$L_{\text{пр}} = L_{\text{ном}} + \frac{L_{\text{ном}} \cdot \Sigma\alpha}{100} \pm \delta \pm \delta', \text{ мм} \quad (4.1)$$

де  $L_{\text{пр}}$  – розмір порожнини прес-форми, мм;

$L_{\text{ном}}$  – розмір виливка з креслення, мм;

$\Sigma\alpha$  – сумарна усадка, %;

$\delta$  – допуск на розмір виливка, мм («+» – для внутрішніх поверхонь, «-» – для зовнішніх);

$\delta'$  – допуск на розмір прес-форми, мм («+» – для внутрішніх поверхонь, «-» – для зовнішніх).

Сумарна усадка  $\Sigma\alpha$  зазвичай береться із практичних даних. Вона враховує тільки три із вказаних вище усадок і розширень: лінійну усадку модельної суміші, лінійне розширення керамічної оболонки, лінійну усадку сплаву виливка. Всі інші значно менше впливають на розмірну точність виливка і, при необхідності, будуть компенсовані при доведенні прес-форми. Значення сумарної усадки

$\Sigma\alpha$  з практичних даних для різних матеріалів виливків:

- сталь вуглецева – (1,25 - 1,6) %;
- сталь легована – (1,0 - 2,0) %;
- чавун сірий – (0,5 - 0,65) %;
- чавун ковкий – (0,95 - 1,1) %;
- сплави алюмінієві – (1,1 - 1,3) %;
- латунь – (0,95 - 1,25) %;
- бронза олов'яна – (0,75 - 1,0) %;
- бронза алюмінієва – (1,45 - 1,55) %.

Значення допусків на розміри виливка  $\delta$  при застосуванням кварцових вогнетривких матеріалів наведено у таблиці 4.3.

Допуски на розміри прес-форм  $\delta'$  приймаються 0,2 від допусків на розмір виливка  $\delta$ .

Відстань між осями виливка розраховується по формулі:

$$L_{\text{пр}} = L_{\text{ном}} + \frac{L_{\text{ном}} \cdot \Sigma\alpha}{100} \pm \delta_1, \text{ мм} \quad (4.2)$$

де  $\delta_1$  – допуск на зазори між рухомими частинами і стрижнями прес-форми (приймається 0,15 від допуску на розмір виливка).

Ливникові канали для модельної маси в прес-формах повинні бути короткими, компактною форми, з мінімальною кількістю поворотів. Площа перетину ливника для модельної маси з повітрям невелика: діаметр кола, вписаного в перетин ливника у два і більше разів менше діаметра кола, вписаного у термічний вузол, до якого підведений ливник. Для модельної маси без повітря діаметр кола, вписаного у ливник, дорівнює діаметру кола, вписаного у тепловий вузол, або до 30% менше.

Таблиця 4.3 – Допуски на розміри виливків при литті за витоплюваними моделями

Найбільший габаритний розмір виливка, мм	Кольорові легкі термообробляемі сплави	Нетермообробляемі чорні та кольорові тугоплавкі сплави	Термообробляемі чавунні і кольорові тугоплавкі сплави	Термообробляемі сталі
	Допуски на розміри, мм			
< 100	0,36 – 1,4	0,44 – 1,8	0,56 – 2,2	0,7 – 2,8
100 – 250	0,56 – 2,2	0,7 – 2,8	0,9 – 3,6	1,1 – 4,4

#### 4.2 Документація, обладнання

Для виконання практичної роботи надаються:

- прес-форма автоматизована на виливок «Фланець»;
- креслення виливка «Фланець».



#### 4.4 Зміст звіту

Звіт про виконану лабораторну роботу повинен містити:

- опис загальних відомостей на тему практичної роботи;
- результати розрахунків ливниково-живильної системи, елементів блока моделей, розмірів робочої порожнини прес-форм ЛВМ;
- ескіз вилівка «Фланець» з тепловим вузлом;
- ескіз блока моделей вилівка «Фланець» згідно з розрахунками елементів блока моделей;
- таблицю розмірів елементів робочої порожнини прес-форми.

#### 4.5 Рекомендована література

1) Технологічна оснастка ливарного виробництва [Текст] : навч. посіб. / А. М. Голофаєв та ін. – Луганськ: Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля. [б.в.], 2006. – 304 с.

2) Фесенко А. М. Технологія ливарної форми (ТЛФ) [Текст] : навч. посіб. до практ. занять і самост. роботи для студентів галузі знань 13 "Механічна інженерія" спец. 136 "Металургія" спеціалізації "Ливарне виробництво" / А. М. Фесенко – Краматорськ : ДДМА, каф. технологій і обладнання ливар. вир-ва, 2017. – 112 с.

## 5 ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

### ТЕХНОЛОГІЧНІ І КОНСТРУКТИВНІ РОЗРАХУНКИ ПРИ КОНСТРУЮВАННІ ПРЕС-ФОРМ ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ

Виконання практичної роботи повинно забезпечити:

- вміння проводити розрахунки основних технологічних параметрів при конструюванні прес-форм ЛПТ;
- засвоєння основ розрахунків розмірів робочої порожнини прес-форм ЛПТ.

#### 5.1 Загальні відомості

Литтям під тиском отримують тонкостінні виливки, маса і тепловміст яких навіть при великих габаритних розмірах в сотні разів менші, ніж маса і тепловміст металевої форми. Висока швидкість тепловіддачі від вилівка до форми зумовлює необхідність її швидкого заповнення (менше ніж 0,1 с). Таке заповнення забезпечує машина, в якій залитий в камеру пресування метал під великим тиском і з великою швидкістю запресовується у форму. Високі швидкості впускного потоку (до 100 м/с) сприяють якісному оформленню рельєфу виливків складної конфігурації.

Крім швидкостей пресування і впуску, суттєвий вплив на формування виливка надають наступні фактори: температура металу і форми, конструкція ливниково-вентиляційної системи, тиск і тривалість дії підпресування після заповнення форми. Сукупність таких факторів, як швидкість потоку металу, тиск у потоці, протитиск газів, визначають гідродинамічний режим формування виливка. Температури металу, що заливається, і форми, тривалість заповнення, тривалість підпресування, а також темп роботи машини визначають тепловий режим процесу.

Для лиття під тиском застосовують машини з холодними (горизонтальними та вертикальними) і гарячими камерами пресування, в яких рух пресового поршня забезпечується тиском робочої рідини, яка подається у гідроциліндр пресуючого механізму від спеціальних акумуляторів. Швидкість пресування  $V_{np}$  і тиск  $p$  робочої рідини в різні періоди руху пресового поршня різні (рис. 5.1). За час  $t_f$  пресовий поршень перекидає заливальний отвір, рухаючись

під невеликим тиском  $p_1$  з невеликою швидкістю  $V_1$ . Період  $t_2$  відповідає просуванню металу в камері пресування, аж до входу його в ливникові канали (допоміжний хід).

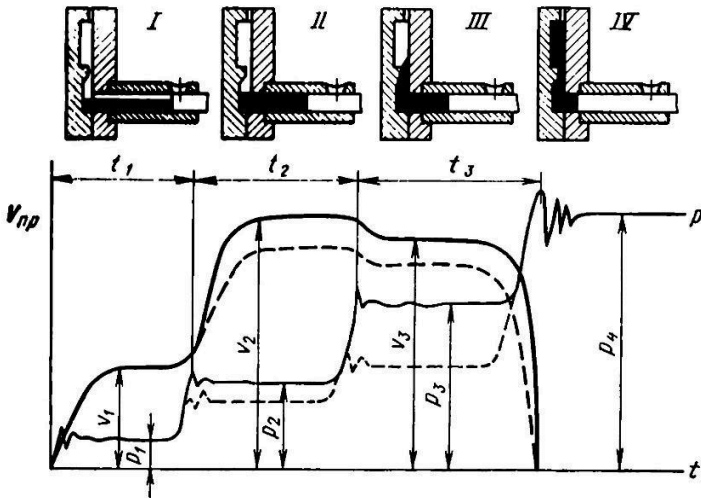


Рисунок 5.1 - Зміни швидкості руху пресового поршня і тиску в камері пресування

Швидкість досягає максимального значення  $V_2$ , а тиск  $p_2$  перевищує  $p_1$  на величину гідравлічних опорів в камері пресування. Період  $t_3$  відповідає заповненню ливникової системи та порожнини форми. Внаслідок різкого звуження потоку в живильнику швидкість падає до  $V_3$ , а тиск підвищується до  $p_3$ . У момент закінчення заповнення форми спостерігається гідравлічний удар. При менших гідравлічних опорах тиск знижується, а швидкість переміщення пресового поршня може бути також зниженою (пунктирні лінії).

Після загасання коливань встановлюється кінцевий тиск  $p_4$ . Якщо до моменту його досягнення метал зберігає рідинорухливий стан, проводиться підпресування, що остаточно формує вилівок.

Висока якість виливків, отриманих литтям під тиском забезпечується оптимальними значеннями наступних технологічних і конструктивних параметрів, розрахунок яких проводиться при конструюванні прес-форм.

**Швидкість впуску  $V_{ен}$ .** Для ЛПТ характерні високі швидкості сплаву на виході з живильника. При різних режимах вона може досягати до 120 м/с. Рекомендовані швидкості впуску наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Рекомендовані значення швидкості впуску  $V_{ен}$

Група виливків	Значення $V_{ен}$ при виготовленні виливків зі сплавів, м/с		
	цинкових	алюмінієвих, магнієвих	
		рідких	рідино-твердих
Товстостінні (з товщиною стінки (5 - 10) мм)			
- прості	30 - 40	0,5 - 1,0	2 - 3
- складні	40 - 50	0,5 - 1,0	3 - 6
Середньої товщини стінки ((3 - 6) мм):			
- прості	40-60	8-12	5-8
- складні	60-80	10-20	8-10
Тонкостінні (з товщиною стінки (1,5 - 3) мм):			
- прості	80-100	30-40	-
- складні	110-120	40-60	-

**Тривалість заповнення форми  $t_{зап}$ .** Розраховується по емпіричній формулі:

$$t_{зап} = 0,06 K_c K_T, c \quad (5.1)$$

де  $K_c$  – коефіцієнт, що залежить від виду сплаву (1 – для цинкових; 0,9 – для алюмінієвих; 0,85 – для магнієвих; 0,75 – для мідних);

$K_T$  – коефіцієнт, що залежить від середньої товщини стінки виливка, мм:

- до 1 – 0,05;
- 1 - 2 – 0,08;
- 2 - 4 – 0,10;
- 4 - 6 – 0,11;
- 6 - 9 – 0,13;

- > 9 – 0,15.

**Діаметр камери пресування  $V_{пр}$ .** Розраховується по емпіричній формулі:

$$D_{пр} = \sqrt{\frac{4(m_{вил} + m_{лив})}{\pi \cdot k}}, \text{ см} \quad (5.2)$$

де  $m_{вил}$  і  $m_{лив}$  – маса виливка і маса ливників, кг;  
 $k$  – емпіричний коефіцієнт (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 - Значення емпіричного коефіцієнта  $k$  для розрахунку діаметра камери пресування

Сплави	Група складності		
	прості	складні	дуже складні
Цинкові, алюмінієві, мідні	0,017	0,014	0,010
Магнієві	0,014	0,010	0,070

**Швидкість пресування  $V_{пр}$ .** Розраховується по формулі:

$$V_{пр} = 4 \cdot \frac{m_{вил} + m_{пром}}{\pi \cdot \rho \cdot t_{зап} \cdot D_{пр}^2}, \text{ см/с} \quad (5.3)$$

де  $m_{вил}$  і  $m_{пром}$  – маса виливка і промивників, кг;  
 $\rho$  – питома вага сплаву, кг/дм<sup>3</sup>;  
 $t_{зап}$  – тривалість заповнення форми, с;  
 $D_{пр}$  – діаметр камери пресування, см.

**Тиск пресування  $P_{пр}$ .** Визначається в залежності виду сплаву і товщини стінки виливка за емпіричними даними (табл. 5.3).

**Тиск підпресування  $P_{нпр}$ .** Визначається за емпіричними даними, наведеними в таблиці 5.4.

Таблиця 5.3 - Рекомендовані мінімальні значення тиску пресування, МПа

Сплави	Значення $P_{пл}$ min для виливків з товщиною стінки, мм					
	до 3			понад 3		
	прості	складні	особливо складні	прості	складні	особливо складні
Цинкові	40	45	50	55	60	75
Алюмінієві	40	45	50	60	65	80
Магнієві	50	55	60	70	80	100
Мідні	60	70	80	90	100	130

Таблиця 5.4 - Рекомендовані значення тиску підпресування для алюмінієвих і магнієвих сплавів

Група виливків	Характеристика виливків	Тиск підпресування, МПа
1	Простої конфігурації з товщиною стінки (2 - 4) мм	50 - 75
2	Складної конфігурації з товщиною стінки (2 - 4) мм	80 - 120
3	З товщиною стінки понад 4 мм	300 - 500

**Розміри ливникової системи.** Визначення площі перетину живильника проводиться по номограмі, яка ув'язує площу перетину живильника  $S_{жив}$  з об'ємом виливка  $Q_{вил} = m_{вил} / \rho_{вил}$  (включаючи промивники) та швидкістю впуску (рис. 5.2).

Ширина живильника обирається за рекомендаціями: при підводі до круглого виливка – не менше половини діаметра виливка, при підводі до прямокутного виливка – не менше 0,8 ширини виливка. Площа перетину підвідного каналу розраховують по формулі:

$$S_{підв} = (1,2 \div 1,5) \cdot S_{жив}, \text{ мм}^2 \quad (5.4)$$

Висоту підвідного каналу визначають по формулі:

$$h_{підв} = 0,77 \cdot \sqrt{S_{жив}}, \text{ мм} \quad (5.5)$$

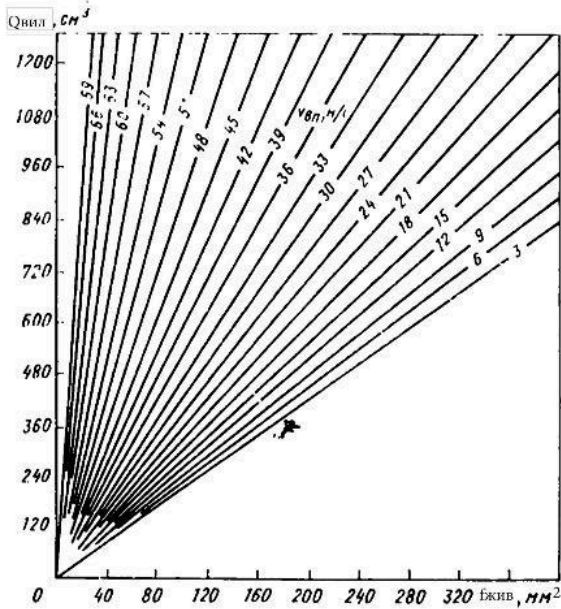


Рисунок 5.2 – Номограма для визначення площі перетину живильника

**Розміри вентиляційної системи.** Сумарна площа вентиляційних каналів розраховується по емпіричній формулі:

$$S_{\text{вк}} = \frac{K \cdot m_{\text{вилл}}}{\rho \cdot t_{\text{зап}}}, \text{ мм}^2 \quad (5.6)$$

де  $S_{\text{вк}}$  – сумарна площа вентиляційних каналів, мм<sup>2</sup>;

$m_{\text{вилл}}$  – маса вилітка з промивниками, г;

$\rho$  – щільність сплаву, кг/м<sup>3</sup>;

$t_{\text{зап}}$  – тривалість заповнення порожнини форми, с;

$K$  – емпіричний коефіцієнт, для алюмінієвих сплавів 0,077, для магнієвих – 0,087, для цинкових – 0,070.

### Приклад виконання розрахунків технологічних параметрів.

Завдання: провести розрахунки технологічних параметрів прес-форми для вилітка «Корпус».

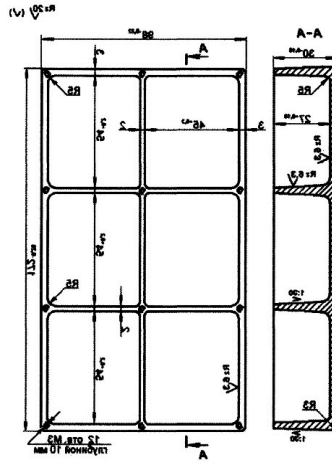


Рисунок 5.3 - Деталь «Корпус»

Розробляємо креслення вилівка з елементами ливарної форми лиття під тиском.

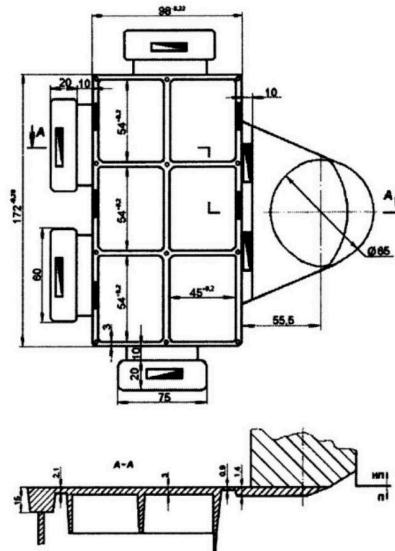


Рисунок 5.4 – Вилівка «Корпус» (матеріал сплав АК12, маса вилівка 0,34 кг)

### Послідовність розрахунку:

1) Визначаємо металомісткість форми:

- маса вилівка:  $m_{\text{вил}} = 0,34$  кг;

- маса промивників:  $m_{\text{пром}} = 0,75$

$$m_{\text{вил}} = 0,75 \cdot 0,34 = 0,24 \text{ кг}$$

- маса ливників, крім презалишка:

$$m_{\text{лив}} = 0,2(m_{\text{вил}} + m_{\text{пром}}) = 0,2(0,34 + 0,24) = 0,12 \text{ кг}$$

- металомісткість форми:

$$m_{\text{ф}} = 0,34 + 0,24 + 0,12 = 0,7 \text{ кг}$$

2) Визначаємо швидкість впуску (табл. 5.1):  $V_{\text{вп}} = 10$  м/с;

3) Визначаємо тиск пресування (табл. 5.3):  $P_{\text{пр}} = 45$  МПа;

4) Визначаємо тиск підпресування (табл. 5.4):  $P_{\text{ппр}} = 80$  МПа;

5) Визначаємо тривалість заповнення форми: при  $K_c = 0,9$  та  $K_r = 0,1$

$$t_{\text{зап}} = 0,06 \cdot 0,9 \cdot 0,1 = 0,0054 \text{ с}$$

6) Розраховуємо діаметр камери пресування при  $k = 0,017$ :

$$D_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{4(0,34+0,24)}{3,14 \cdot 0,017}} = 6,6 \text{ см}$$

7) Розраховуємо швидкість пресування:

$$V_{\text{пр}} = 4 \frac{0,34+0,24}{3,14 \cdot 2,5 \cdot 0,0054 \cdot 6,6^2} = 1,25 \text{ м/с}$$

8) Проводимо розрахунок ливникової системи.

Площа перетину живильника згідно з номограмою (рис. 5.2) при  $Q_{\text{вил}} = 232 \text{ см}^3$  і  $V_{\text{вп}} = 10$  м/с буде –  $S_{\text{жив}} = 100 \text{ мм}^2$ .

Товщину живильника приймаємо  $\delta_{\text{жив}} = 0,3$ ;  $\delta_{\text{вил}} = 0,3 \cdot 3 = 0,9$  мм  
 Ширина живильника  $b_{\text{жив}} = 100 / 0,9 = 110$  мм, висота підвідного каналу  $b_{\text{під}} = 1,5 \cdot 0,9 = 1,35$  мм.

9) Проводимо розрахунок вентиляційної системи.

Сумарна площа вентиляційних каналів:

$$S_{\text{вк}} = \frac{0,077 \cdot 580}{2500 \cdot 0,0054} = 3,3 \text{ мм}^2$$

### Розрахунки розмірів робочої порожнини прес-форми

Проводяться з урахуванням усадки сплаву виливка, та допусків на лінійні розміри виливка і допусків на зношення прес-форми та інших чинників (ухилів, припусків). Формула для розрахунків виконавчих розмірів прес-форми:

$$L_{\text{пф}} = L_{\text{вил}} \left(1 + \frac{\alpha}{100}\right) \pm \delta \pm \delta', \text{ мм} \quad (5.7)$$

де  $L_{\text{пф}}$  – розмір в прес-формі, мм;

$L_{\text{вил}}$  – розмір виливка з креслення, мм;

$\alpha$  – усадка сплаву виливка, %;

$\delta$  – допуск на розмір виливка, мм («-» – для охоплюваних розмірів виливка, «+» – для охоплюючих);

$\delta'$  – допуск на розмір прес-форми, мм («-» – для охоплюваних розмірів виливка, «+» – для охоплюючих).

Охоплюваний розмір виливка оформляється порожниною прес-форми, а охоплюючий розмір виливка оформляється стрижнем.

Таблиця 5.5 - Допуски на розміри виливків при литті під тиском

Найбільший габаритний розмір виливка, мм	Кольорові легкі нетермооброблювані сплави	Кольорові легкі термооброблювані сплави
	Допуски розмірів виливків, мм	
<100	0,24 – 0,78	0,28 – 0,96
>100 – 250	0,30 – 1,1	0,30 – 1,40
>250 – 630	0,56 – 1,80	0,65 – 2,60

$\delta'$  приймається 0,7 від  $\delta$ , що забезпечить отримання дійсного розміру вилівка в нижній половині поля допуску. Це дозволить збільшити термін служби прес-форми, оскільки збільшується поле на її спрацювання, що допускається.

Величина усадки приймається з практичних даних:

- наявний стрижень, перешкоджає усадці: Al, Mg, Zn – 0,5%; Cu – 0,6%;
- наявний стрижень, що не дуже перешкоджає усадці: Al, Mg, Zn – 0,5%; Cu – 0,6%;
- вилівок без стрижнів: Al, Mg, Zn – 0,9%; Cu – 1,0%.

## 5.2 Документація, обладнання

Для виконання практичної роботи надаються:

- прес-форма на вилівок «Кришка центрифуги»;
- креслення вилівка «Кришка центрифуги»

## 5.3 Порядок виконання практичної роботи

Роботу виконувати в наступній послідовності:

- розібрати прес-форму на вилівок «Кришка центрифуги»;
- ознайомитися з елементами робочої порожнини і ливниково-живильної системи прес-форми;
- виконати розрахунки технологічних і конструктивних параметрів прес-форми;
- виконати розрахунки розмірів робочої порожнини прес-форми, заповнити таблицю розмірів 5.6.

Таблиця 5.6 - Розміри елементів робочої порожнини прес-форми

<b>Лвил</b> розмір вилівка з креслення, мм	<b>Лпр</b> розмір порожнини прес-форми, мм

#### 5.4 Зміст звіту

Звіт про виконану практичну роботу повинен містити:

- загальні відомості про основні розрахунки технологічних і конструктивних параметрів при конструюванні прес-форм ЛПТ;
- результати розрахунків технологічних і конструктивних параметрів при конструюванні прес-форми «Кришка центрифуги»;
- заповнену таблицю 5.5 з результатами розрахунків розмірів робочої порожнини прес-форми.

#### 5.5 Рекомендована література

- 1) Технологічна оснастка ливарного виробництва [Текст] : навч. посіб. / А. М. Голофаєв та ін. – Луганськ: Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля. [б.в.], 2006. – 304 с.
- 2) Фесенко А. М. Технологія ливарної форми (ТЛФ) [Текст] : навч. посіб. до практ. занять і самост. роботи для студентів галузі знань 13 "Механічна інженерія" спец. 136 "Металургія" спеціалізації "Ливарне виробництво" / А. М. Фесенко – Краматорськ : ДДМА, каф. технологій і обладнання ливар. вир-ва, 2017. – 112 с.

## **6 ПРАКТИЧНА РОБОТА №3**

### **ТЕХНОЛОГІЧНІ І КОНСТРУКТИВНІ РОЗРАХУНКИ ПРИ КОНСТРУЮВАННІ КОКІЛІВ**

Виконання практичної роботи повинно забезпечити вміння проводити розрахунки ливниково-живильної та вентиляційної систем, зусилля запирання, товщини робочої стінки кокілью при його конструюванні.

#### **6.1 Загальні відомості**

Лиття в кокіль знайшло застосування у виробництві виливків із сірого та високоміцного чавунів, алюмінієвих, магнієвих, цинкових і мідних сплавів. В кокілях виготовляють також виливки із чавуну з вермикулярним графітом та ковкого, а також зі сталі. Маса виливків змінюється від одиниць до сотень і навіть кількох тисяч кілограмів.

Кокіль являє собою форму багаторазового використання. Оскільки металеві матеріали значно відрізняються за своїми властивостями від неметалевих формувальних матеріалів, (більшими теплопровідністю, міцністю та питомою об'ємною теплоємністю, практично нульовою газопроникністю і газотвірністю та ін.), то у кокілі створюються особливі умови формування виливків.

Переваги лиття в кокіль полягають у наступному:

- підвищуються техніко-економічні показники виробництва виливків завдяки скороченню числа технологічних операцій і тривалості технологічного циклу, спрощенню задачі комплексної механізації і автоматизації виробництва, зменшенню споживання основних і допоміжних матеріалів, зменшенню втрат від браку, підвищенню знімання придатної продукції з одиниці виробничої площі і зниженню капітальних витрат;

- підвищується якість виливків внаслідок збільшення їх щільності, міцності, пластичності, зносостійкості, підвищення точності і гладкості поверхні, зниженню припусків і підвищення продуктивності обробки різанням, скорочення втрат від браку;

- поліпшуються умови праці, знижується шкідливий вплив на навколишнє середовище завдяки різкому скороченню споживання формувальних та інших допоміжних матеріалів.

Лиття в кокіль має і недоліки, основні з них:

- складність виготовлення і обмежена стійкість кокілю;
- необхідність застосування складних піщаних і металевих стрижнів при виготовленні виливків із піднутреннями;
- складність отримання тонкостінних, реберних виливків;
- схильність виливків до утворення тріщин та інших дефектів через неподатливість форми;
- підвищена чутливість до відхилень параметрів процесу і властивостей застосовуваних матеріалів.

Ефективність кокільного виробництва виливків залежить від повноти і правильності використання переваг цього процесу з урахуванням його особливостей і недоліків. Особливо важливо це на етапі розробки конструкції кокілю. Конструкція кожного кокілю повинна бути оригінальною для забезпечення переваг і зниження впливу негативних факторів металевої форми. І в першу чергу при конструюванні кокілю це визначається вмінням розробників оснастки виконувати всі необхідні технологічні і конструктивні розрахунки на високому рівні. Це розрахунки ливниково-живильної і вентиляційної систем, зусилля запирання кокілю, товщини стінки кокілю, які найбільше впливають на забезпечення якості кокільних виливків.

**Проектування ливниково-живильної системи.** При литті в металеві форми застосовують ті ж типи ливникових систем, що і при литті в піщані форми з підведенням розплаву зверху, знизу, збоку, комбіновані і ярусні (рис. 6.1).

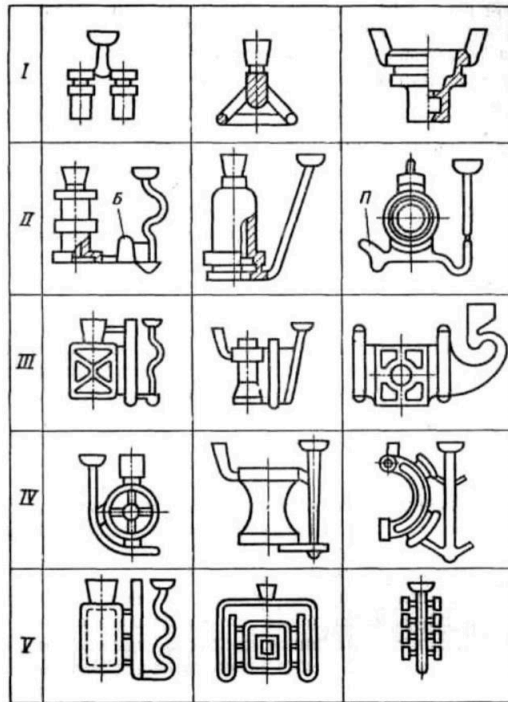
Ливникові системи з верхнім підводом використовують для дрібних невисоких виливків типу втулок і кілець.

Ливникові системи з нижнім підводом використовують для виливків корпусів, високих втулок, кришок.

Ливникові системи з боковим щільовим живильником використовують при литті циліндричних виливків: поршнів, втулок, обичайок.

Ливникові системи з комбінованим підводом використовують для складних виливків.

Ярусні ливникові системи використовують складних тонкостінних виливків або для дрібних виливків у великій кількості.



I – підведення розплаву зверху; II – знизу; III – збоку;  
IV – комбіновані; V – ярусні

Рисунок 6.1 – Ливникові системи при литті в кокіль

**Розрахунки ливникової системи.** Визначивши схему ливникової системи і місце підводу рідкого металу, проводять розрахунок елементів ЛЖС в наступній послідовності.

1) Розрахунок оптимальної тривалості заливання форми:

$$t = k \sqrt[3]{\delta \cdot G_{\text{вил}}}, \text{ с} \quad (6.1)$$

де  $k$  - емпіричний коефіцієнт тривалості заливання;

$\delta$  - середня товщина стінки виливка, мм;

$G_{\text{вил}}$  - маса виливка, кг

Таблиця 6.1 - Значення коефіцієнта тривалості заливання

Матеріал вилівка	Коефіцієнт k	
Сірий чаву з пластинчастим графітом	заливання зверху	1,8
	заливання збоку	1,6
	заливання знизу	1,4
Чавун з кулястим графітом	заливання зверху	1,6
	заливання збоку	1,4
	заливання знизу	1,2
Алюмінієвий сплав	Для звичайних систем при масі $G_{вил}$ , кг	
	до 2	2,2
	2 - 5	2,4
	5 - 10	2,5
	>10	2,6
	Для вертикально-щільових систем при масі $G_{вил}$ , кг	
до 15	2,2	
15 - 30	3,6	
30 - 70	4,0	
Магнієвий сплав	Для звичайних систем при масі $G_{вил}$ , кг	
	до 2	2,0
	2 - 5	2,6
	5 - 10	2,8
	10 - 20	2,9
	>20	3,0
Для вертикально-щільових систем при масі $G_{вил}$ , кг		
до 30	3,7	
30 - 45	4,0	
45 - 65	4,4	

2) Визначення вузького місця ливникової системи. Як вузьке місце системи для чавуну і сталі приймається живильник, для алюмінієвих і магнієвих сплавів – нижній перетин стояка.

3) Розрахунок площі перетину вузького місця системи. Проводиться по формулі:

$$F_{\text{пер}} = \frac{G_{\text{вил}} \cdot n}{M \cdot \rho \cdot t \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}}, \text{ м}^2 \quad (6.2)$$

де  $G_{\text{вил}}$  - маса виливка, кг;

$n$  - кількість виливків у кокілі;

$M$  - коефіцієнт, що враховує гідравлічний опір ЛЖС;

$\rho$  - щільність рідкого металу,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$t$  - тривалість заливання кокілю;

$g$  - прискорення сил падіння,  $\text{м}/\text{с}^2$ ,  $g = 9,82 \text{ м}/\text{с}^2$ ;

$H_p$  – середній розрахунковий тиск сплаву, м, визначається за формулою:

$$H_p = H - \frac{H_v^2}{h}, \text{ м} \quad (6.3)$$

де  $H$  - відстань від місця підводу металу у форму до рівня його у чаші, м;

$H_v$  - висота виливка від місця підводу металу до верхньої частини виливка, м;

$h$  - висота виливка, м

При виконанні розрахунків щільність  $\rho$  рідкого чавуну і сталі можна прийняти  $7000 \text{ кг}/\text{м}^3$ , алюмінієвих сплавів –  $2500 \text{ кг}/\text{м}^3$ , магнієвих –  $1600 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Значення коефіцієнта гідравлічного опору ЛЖС залежить від виду сплаву і типу ливникової системи (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 - Значення коефіцієнта гідравлічного опору  $M$

Матеріал виливка	Тип ливникової системи	Коефіцієнт опору $M$
Чавун	Верхня	0,7 - 0,8
	Бокова	0,6 - 0,7
	Нижня	0,4 - 0,5
Алюмінієві, магнієві сплави	Ярусна	0,7 - 0,8
	Бокова і нижня	0,6 - 0,7
Мідні сплави	Ярусна	0,25 - 0,35

4) Розрахунок площ перетину інших елементів ЛЖС проводиться з використанням практичних рекомендацій по співвідношенням площ перетину елементів ливникової системи. Для чавуну і сталі рекомендується співвідношення площ перетину живильника, шлакоуловлювача і стояка: 1:1,15:1,25, для алюмінієвих і магнієвих сплавів рекомендовані співвідношення наведені у табл. 6.3. Вузким місцем ливникових систем для алюмінієвих і магнієвих сплавів є нижній перетин стояка.

Таблиця 6.3 - Співвідношення площ перетину елементів ливникових систем при литті легких кольорових сплавів

Маса виливків без додатків, кг		$F_{жив} : F_{кол} : F_{ст}$
З алюмінієвих сплавів	З магнієвих сплавів	
до 5	до 3,5	(3 - 2) : 2 : 1
5 - 10	3,5 - 7	(4 - 2) : (3 - 2) : 1
10 - 20	7 - 14	(4 - 3) : (3 - 2) : 1
20 - 40	14 - 28	(4 - 3) : (4 - 2) : 1
40 - 70	28 - 50	(5 - 4) : (4 - 2) : 1
70 - 150	50 - 100	(5 - 4) : (4 - 3) : 1
>150	>100	(6 - 4) : 4 : 1

**Розрахунки додатків.** При литті в кокіль принципи організації живлення виливків такі самі, як і при литті в піщані форми. Найчастіше розрахунки об'єму додатків кокільних виливків проводять по формулі Й. Пржибила:

$$V_d = \frac{\Sigma \alpha_v \cdot \beta}{1 - \Sigma \alpha_v \cdot \beta} V_{вил}, \text{ см}^3 \quad (6.4)$$

де  $V_d$  – об'єм додатка,  $\text{см}^3$ ;

$\Sigma \alpha_v$  – частина об'ємної усадки сплаву, що бере участь у формуванні усадкової раковини, б/р;

$V_{вил}$  – об'єм виливка,  $\text{см}^3$ ;

$\beta$  – коефіцієнт економічності додатка, який дорівнює відношенню об'єму додатка до об'єму усадкової раковини ( $V_d / V_p$ )

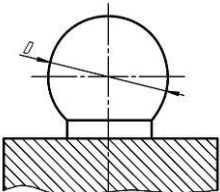
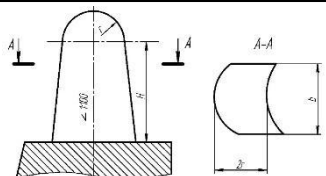
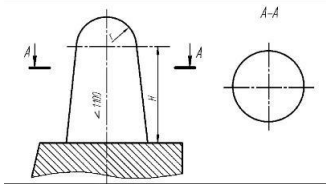
Значення  $\Sigma\alpha_0$  залежить від виду сплаву: для алюмінієвих 0,043 – 0,055; для магнієвих 0,040 - 0,045; для цинкових 0,045 - 0,50; для латуні 0,061 - 0,065; для безолов'яних бронз 0,08; для олов'яних бронз 0,045 - 0,050; для сталей і високоміцного чавуну 0,045.

Коефіцієнт  $\beta$  обирається залежно від умов роботи додатка: для відкритих додатків 9 - 10, для теплоізольованих 8 - 9, для додатків, що обігріваються 6 - 7.

З найденого об'єму  $V_0$  розраховуються розміри додатка. При цьому відношення висоти додатка до його діаметра в закритих додатках повинно дорівнювати 1,25 - 1,50, у відкритих 1,50 - 1,90.

Розрахункові формули для визначення конструктивних параметрів додатків різних конфігурацій наведені в таблиці 6.4.

Таблиця 6.3 - Визначення висоти типових конструкцій додатків

Вид додатка	Характеристика	Розрахункова формула
	Кульовий додаток	$D = 1,24 \cdot \sqrt[3]{V_D}$
	Закритий куполоподібний додаток	$H = \frac{V_D - 0,45 \cdot \pi r^2 b}{F}$ <p><math>H + r</math> не менше висоти теплового вузла</p>
	Закритий куполоподібний додаток з компактною формою перерізу	$H = \frac{V_D}{\pi r^2} - \frac{2}{3} r$ <p><math>H + r</math> не менше висоти теплового вузла</p>

Кінець таблиці 6.3

Вид додатка	Характеристика	Розрахункова формула
	Відкритий циліндричний або конічний додаток	$H = \frac{4V}{\pi d^2}$
	Відкритий додаток з компактною формою перерізу	$H = \frac{V}{0,95F}$

**Проектування вентиляційної системи.** В процесі заливки розплаву в кокіль повітря знаходиться в його порожнині, швидко нагрівається і багато разів збільшується в об'ємі. Одночасно із захисного покриття, піщаного стержня і розплаву виділяються гази, які разом з повітрям, що знаходиться в кокілі, створює невеликий надмірний тиск – протитиск заливці, що уповільнює швидкість заповнення розплавом порожнини кокілю, а у ряді випадків може стати причиною браку виливків через недолив, а також газову пористість і раковини.

Газ з порожнини кокілю видаляється через вентиляційні канали, що з'єднують порожнину кокілю з атмосферою. Вентиляційні канали виконують за розніманням, в знакових частинах, між рухомими з'єднаннями і в стінках кокілю. Як правило, вентиляційні канали розміщують у верхній частині кокілю, а також в тупикових порожнинах, звідки розплави витісняє гази в останню чергу.

По площині рознімання роблять газовідвідні канали. В тупикових порожнинах в стінці кокілю встановлюють вентиляційні пробки.

При виборі місця установки вентиляційних пробок необхідно враховувати послідовність заповнення форми розплавом.

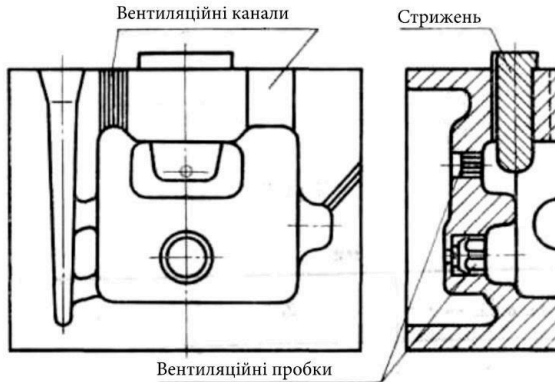


Рисунок 6.2 – Розміщення вентиляційних каналів і пробок в стінці котілю

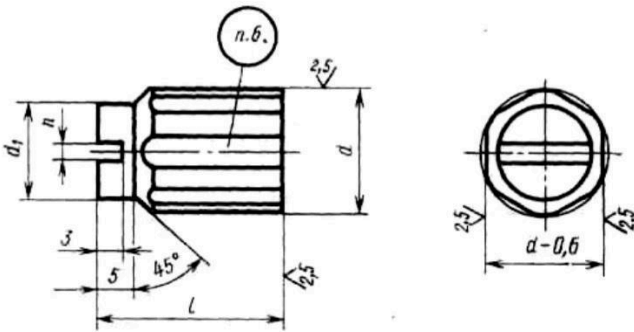


Рисунок 6.3 – Конструкція вентиляційних пробок

Площа сумарного поперечного перерізу вентиляційних каналів повинна бути на 25% більше площі перетину живильників:

$$\sum F_v = 1,25F_{\text{жив}}$$

**Розрахунок зусилля запирання котілю.** Для запобігання утворенню щілин по роз'єму котілю під дією динамічного і статичного тиску розплаву при заливанні і твердінні, при проектуванні необхідно передбачити механізм запирання. Необхідне зусилля

запирання може бути розраховане по наступній формулі, яка враховує тільки гідростатичний тиск розплаву, без зусиль, що виникають з-за жолоблення кокілю:

$$P = 2 \cdot g \cdot \rho \cdot H \cdot F \cdot k, \text{ н} \quad (6.5)$$

де  $P$  – зусилля запирання кокілю, н;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$\rho$  – щільність розплаву,  $\text{кг/м}^3$ ;

$H$  – відстань від рівня розплаву в чаші до центру тяжіння перетину виливка, м;

$F$  – площа перетину виливка в площині роз'єму,  $\text{м}^2$ ;

$k$  – коефіцієнт запасу.

**Визначення товщини робочої стінки кокілю** є одним із найважливіших етапів його проектування, тому, що цей параметр найбільше впливає на довговічність кокілю. Для точних розрахунків використовують формули Петриченка А. М., Вейника А. І., для спрощених – формулу Дубініна Н. П., або графіки Серебро В. С. На практиці найчастіше використовують графік, виконаний на основі практичного досвіду (рис. 6.4), по якому товщина стінки кокілю обирається залежно від товщини стінки виливка.

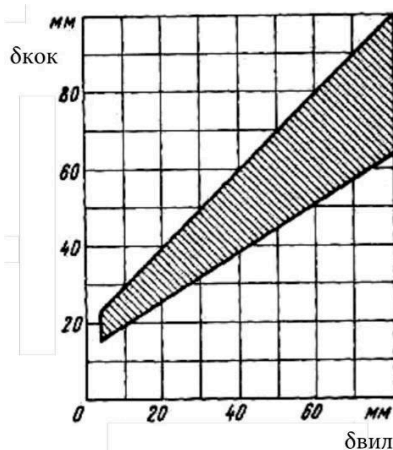
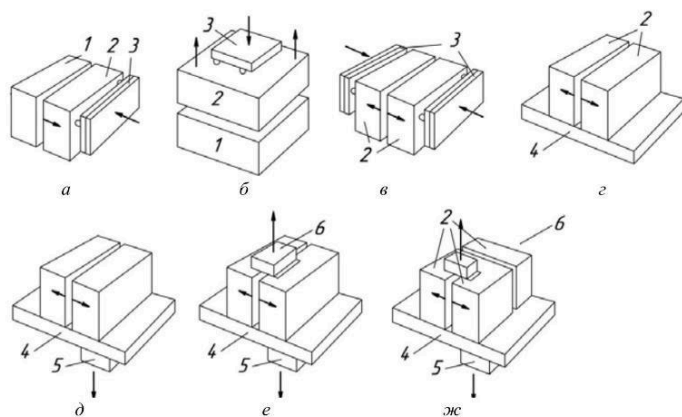


Рисунок 6.4 – Графік для визначення товщини стінок кокілю

**Визначення типу універсальної кокільної машини.** В серійному і великосерійному виробництвах технологічний процес виготовлення кокільних виливків слід максимально механізувати.

Розрізняють кілька типів кокілів, призначених для універсальних кокільних машин (рис. 6.5).

Надпростий кокіль складається з двох половин, одна з яких рухома. Кокіль може мати вертикальний (рис. 6.5, а) або горизонтальний (рис. 6.5, б) роз'єм. При вертикальній площині роз'єму елементи ливникової системи розташовані в роз'ємі форми і не перешкоджають вільному видаленню виливка із кокілю. При горизонтальному роз'ємі необхідно вводити спеціальний піщаний стрижень для оформлення стояка і чаші, щоб вилучити виливок.



- а – з вертикальним роз'ємом і одною рухомою половиною;  
 б – з горизонтальним роз'ємом і одною рухомою половиною;  
 в – з вертикальним роз'ємом і двома рухомими половинами;  
 г – з вертикальним роз'ємом, двома рухомими половинами і піддоном;  
 д – з вертикальним роз'ємом, двома рухомими половинами, піддоном і нижнім металевим стрижнем; е – з вертикальним роз'ємом, двома рухомими половинами, нижнім і верхнім металевим стрижнем;  
 ж – з вертикальним роз'ємом, трьома рухомими частинами, піддоном, нижнім і верхнім металевими стрижнями;  
 1 – нерухома частина; 2 – рухома частина; 3 – плита виштовхувачів; 4 – піддон;  
 5, 6 – відповідно нижній і верхній металеві стрижні

Рисунок 6.5 – Типи кокілів для універсальних кокільних машин (стрілки – напрями руху деталей кокілю)

Наступний тип кокілю (рис. 6.5, в) складається з двох рухомих половин з вертикальним роз'ємом. Плити виштовхувачів у цьому випадку можуть знаходитися в одній або двох половинах кокілю.

Кокілі типів, наведених на рис.6.5, г, д, складаються з двох рухомих частин з вертикальним роз'ємом і піддоном, в який можна встановлювати піщаний або металевий стрижень.

Конструкція кокілю на рис. 6.6, е додатково має рухоми частину верхнього металевого стрижня.

У варіанті, показаному на рис. 6.5, ж, по зрівнянню з попереднім типом, додана ще одна торцева рухома частина кокілю.

Виходячи з обраних поверхонь роз'єму і положення вилівка у кокілі, необхідно визначитися з типом кокілю і можливістю його «прив'язки» до якогось типу універсальних кокільних машин.

## **6.2 Документація, обладнання**

Для виконання практичної роботи надаються:

- кокіль на вилівок «Корпус»;
- креслення вилівка «Корпус»

## **6.3 Порядок виконання практичної роботи**

Роботу виконувати в наступній послідовності:

- ознайомитись з конструкцією кокілю в зборі на вилівок «Корпус», визначити основні його складові частини;
- розкрити кокіль, ознайомитися з елементами робочої порожнини і ливниково-живильної системи кокілю;
- нанести на кресленні вилівка «Корпус» елементи ливарної форми;
- виконати розрахунки ливниково-живильної і вентиляційної систем, зусилля запирання кокілю, товщини стінки кокілю, обрати тип універсальної кокільної машини.

## **6.4 Зміст звіту**

Звіт про виконану практичну роботу повинен містити:

- загальні відомості про технологічні і конструктивні розрахунки при конструюванні кокілів;

- ескіз вилівка «Корпус» з елементами ливарної форми;
- результати розрахунків технологічних і конструктивних параметрів при конструюванні кокілю «Корпус», обраний тип універсальної кокільної машини.

### **6.5 Рекомендована література**

- 1) Технологічна оснастка ливарного виробництва [Текст] : навч. посіб. / А. М. Голофаєв та ін. – Луганськ: Східноукраїнський національний ун-т ім. Володимира Даля. [б.в.], 2006. – 304 с.
- 2) Фесенко А. М. Технологія ливарної форми (ТЛФ) [Текст] : навч. посіб. до практ. занять і самост. роботи для студентів галузі знань 13 "Механічна інженерія" спец. 136 "Металургія" спеціалізації "Ливарне виробництво" / А. М. Фесенко – Краматорськ : ДДМА, каф. технологій і обладнання ливар. вир-ва, 2017. – 112 с.