

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

Механіко-технологічний факультет

Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва

«Допущено до захисту»

Зав. кафедрою МЛВ

к.т.н. доцент

Олександр КУЗИК

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026 року

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему

**«Розробка технології виготовлення виливка  
«Важіль» з високоміцного чавуну ВЧ 450-10 з  
обґрунтуванням технологічних параметрів лиття»**  
«Development of a technology for manufacturing a "Lever" casting  
from high-strength cast iron ВЧ 450-10 with justification of  
technological parameters of casting»

**Виконав здобувач вищої освіти:**

IV курсу, групи ПМ-22-1

ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій,

робототехніка і 3D друк»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

\_\_\_\_\_ Грузін Д.О.

**Керівник роботи:**

к.т.н. доцент \_\_\_\_\_ Олександр КУЗИК

**Рецензент:** \_\_\_\_\_

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ перший (бакалаврський) \_\_\_\_\_  
Галузь знань 13 Механічна інженерія  
Спеціальність 131 "Прикладна механіка"  
Освітньо-професійна програма «Комп'ютерний інжиніринг технологій,  
робототехніка і 3D друк»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувача кафедри \_\_\_\_\_

к.т.н. доцент, Олександр КУЗИК

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026 року

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ  
(БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ  
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

**Грузін Дмитро Олексійович**

1. Тема роботи: " Розробка технології виготовлення виливка «Важіль» з високоміцного чавуну ВЧ 450-10 з обґрунтуванням технологічних параметрів лиття " Затверджена наказом вищого навчального закладу від "13"березня 2026 року № 167-02.

2. Керівник роботи Кузик Олександр Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва.

3. Строк подання роботи до захисту "15" червня 2026 року.

4. Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка технології виготовлення відливка «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10 та обґрунтування основних технологічних параметрів процесу лиття.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати конструкцію деталі «Важіль» та умови її експлуатації;
- дослідити властивості високоміцного чавуну ВЧ450-10 як матеріалу відливка;
- виконати оцінку технологічності конструкції виробу;
- обґрунтувати спосіб виготовлення відливка;
- вибрати положення відливка у формі та площину роз'єму;
- призначити припуски на механічну обробку та формувальні ухили;
- розрахувати ливниково-живильну систему;
- розробити конструкцію ливарної форми;
- визначити умови заливання, охолодження та контролю якості відливок.

5. Перелік графічного матеріалу:

- креслення деталі з нанесенням модельно-ливарних вказівок;
- креслення ливарної форми в зборі.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	доц., Олександр КУЗИК		
Розділ 2	доц., Олександр КУЗИК		
Розділ 3	доц., Олександр КУЗИК		

*КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН*

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1	10.04.2026	
2	Розділ 2	30.04.2026	
3	Розділ 3	20.05.2026	
4	Оформлення пояснювальної записки та презентації роботи	12.06.2026	

Дата видачі завдання

«16» 03 2026 року

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ Олександр КУЗИК

Завдання прийнято до виконання

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 року

\_\_\_\_\_ Дмитро Грузін

## АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розроблено технологію виготовлення відливка «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10 та обґрунтовано основні параметри технологічного процесу лиття.

Проведено аналіз конструкції деталі, умов її експлуатації та технологічності виготовлення. Виконано вибір матеріалу відливка, способу лиття, положення відливка у формі та площини роз'єму. Розраховано ливниково-живильну систему, визначено її основні конструктивні параметри та розроблено конструкцію ливарної форми для виготовлення восьми відливків в одній формі.

Розглянуто особливості технологічних операцій заливання, охолодження, вибивання та очищення відливків. Проведено аналіз методів контролю якості готової продукції та можливих ливарних дефектів, а також запропоновано заходи щодо їх попередження.

Розроблена технологія забезпечує отримання якісних відливків із високоміцного чавуну ВЧ450-10, зниження ймовірності виникнення дефектів та підвищення ефективності ливарного виробництва.

Пояснювальна записка містить \_\_\_ сторінок, \_\_\_ рисунків, \_\_\_ таблиць, \_\_\_ джерел.

**Ключові слова:** важіль, відливок, високоміцний чавун ВЧ450-10, ливарна форма, ливниково-живильна система, піщано-глиниста форма, лиття, контроль якості, ливарні дефекти.

## ABSTRACT

The qualification thesis is devoted to the development of a manufacturing technology for a "Lever" casting made of high-strength ductile iron BЧ450-10 and the substantiation of the main technological parameters of the casting process.

The design features, operating conditions and manufacturability of the part were analyzed. The casting material, casting method, casting position in the mold and parting plane were selected. A gating and feeding system was designed, its main parameters were calculated, and a mold structure for producing eight castings in a single mold was developed.

The technological operations of pouring, solidification, shakeout and cleaning of castings were considered. Methods of quality control and the most common casting defects were analyzed, and measures for their prevention were proposed.

The developed technology ensures the production of high-quality castings made of ductile iron BЧ450-10, reduces the probability of casting defects and improves the efficiency of the foundry process.

The explanatory note contains \_\_\_ pages, \_\_\_ figures, \_\_\_ tables and \_\_\_ references.

**Keywords:** lever, casting, ductile iron BЧ450-10, mold, gating system, sand-clay mold, casting process, quality control, casting defects.

## ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ ТА ВИМОГ ДО ВІДЛИВКА..	9
1.1 Призначення та умови експлуатації деталі.....	9
1.2 Аналіз конструкції деталі.....	11
1.3 Аналіз матеріалу ВЧ450-10 та оцінка технологічності конструкції.....	13
Висновки до розділу 1.....	15
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДЛИВКА.....	17
2.1 Аналіз конструкції відливка та технічних вимог до нього .....	17
2.2 Вибір способу виготовлення відливка.....	19
2.3 Вибір положення відливка у формі та площини роз'єму.....	21
2.4 Вибір припусків, формувальних ухилів і стержнів.....	23
2.5 Розрахунок ливниково-живильної системи.....	25
Висновки до розділу 2.....	33
РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВІДЛИВКА .....	31
3.1 Конструкція ливарної форми.....	31
3.2 Складання форми та встановлення стержнів.....	38
3.3 Заливка, охолодження та вибивка відливоків.....	39
3.4 Контроль якості відливоків та можливі дефекти.....	41
Висновки до розділу 3.....	44
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	46
Список використаних джерел.....	47
Додатки.....	48

## ВСТУП

Ливарне виробництво є однією з базових галузей машинобудування, що забезпечує виготовлення деталей складної конфігурації з необхідними експлуатаційними властивостями. Значна частина деталей машин, механізмів і технологічного обладнання виготовляється методом лиття, який поєднує високу продуктивність, економічність та можливість отримання виробів складної форми з мінімальними витратами металу.

Одним із перспективних конструкційних матеріалів для виготовлення відповідальних машинобудівних деталей є високоміцний чавун із кулястим графітом. Завдяки поєднанню високої міцності, достатньої пластичності, добрих ливарних властивостей та зносостійкості високоміцний чавун широко застосовується для виготовлення деталей, що працюють в умовах значних механічних навантажень.

Важіль належить до деталей машинобудівного призначення, які використовуються для передавання зусиль і переміщень у різних механізмах та вузлах обладнання. Надійність роботи таких деталей значною мірою залежить від якості відливка, правильності вибору матеріалу та раціональності технології його виготовлення.

У зв'язку з цим актуальним завданням є розроблення технології виготовлення відливка «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10, яка забезпечує отримання якісної продукції при мінімальних виробничих витратах та високій ефективності ливарного процесу.

**Мета роботи** – розробка технології виготовлення відливка «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10 та обґрунтування основних технологічних параметрів процесу лиття.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- проаналізувати конструкцію деталі «Важіль» та умови її експлуатації;
- дослідити властивості високоміцного чавуну ВЧ450-10 як матеріалу відливка;
- виконати оцінку технологічності конструкції виробу;

- обґрунтувати спосіб виготовлення відливка;
- вибрати положення відливка у формі та площину роз'єму;
- призначити припуски на механічну обробку та формувальні ухили;
- розрахувати ливниково-живильну систему;
- розробити конструкцію ливарної форми;
- визначити умови заливання, охолодження та контролю якості відливків.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення відливка «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10.

**Предмет дослідження** – технологічні параметри лиття, конструкція ливниково-живильної системи та ливарної форми для отримання якісного відливка «Важіль».

**Практичне значення роботи** полягає у розробленні технології виготовлення відливка «Важіль», яка забезпечує отримання якісних виливків із високоміцного чавуну ВЧ450-10, зменшення ймовірності виникнення ливарних дефектів та підвищення ефективності використання матеріальних ресурсів у ливарному виробництві.

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ ТА ВИМОГ ДО ВІДЛИВКА

## 1.1 Призначення та умови експлуатації деталі

Деталь «Важіль» належить до групи відповідальних елементів механічних систем, призначених для передавання та перетворення механічних зусиль між окремими ланками механізму. Подібні деталі широко застосовуються в транспортних машинах, сільськогосподарській техніці, промисловому обладнанні, підйомно-транспортних механізмах, робототехнічних системах та інших технічних пристроях, де необхідно забезпечити надійне передавання навантаження між рухомими елементами конструкції.

Конструктивно важіль являє собою фасонну деталь, що складається з двох циліндричних бобишок, з'єднаних між собою перемичкою прямокутного перерізу. У бобишках передбачені наскрізні отвори, які використовуються для встановлення осей, пальців або інших елементів шарнірних з'єднань. Така конструкція забезпечує можливість передачі зусиль між деталями механізму зі збереженням необхідної кінематичної рухомості. Загальний вигляд деталі «Важіль» наведено на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд деталі «Важіль»

У процесі роботи важіль сприймає статичні та змінні навантаження, що виникають під час передавання зусиль між спряженими елементами вузла. Залежно від умов експлуатації деталь може працювати на розтяг, стиск, вигин та частково на кручення. Особливо небезпечними є циклічні навантаження, які

виникають при багаторазовому повторенні робочих циклів обладнання та можуть спричинити накопичення втомних пошкоджень матеріалу.

Додатковими факторами, що впливають на працездатність важеля, є вібраційні навантаження, ударні впливи та контактне тертя в місцях встановлення пальців або осей. Унаслідок тривалої експлуатації в цих зонах можливе виникнення локального зношування, тому до матеріалу деталі висуваються підвищені вимоги щодо міцності, пластичності та опору руйнуванню.

Важливе значення для забезпечення надійної роботи виробу має точність виконання отворів та взаємне розташування їх осей. Порушення геометричних параметрів може призвести до перекосів під час складання вузла, нерівномірного розподілу навантаження, збільшення контактних напружень і прискореного зношування спряжених деталей. Саме тому після лиття передбачено механічну обробку найбільш відповідальних поверхонь.

Конструкція важеля повинна поєднувати достатню міцність із раціональним використанням матеріалу. Надмірне збільшення перерізів призводить до зростання маси виробу та витрат металу, тоді як недостатні розміри можуть стати причиною втрати несучої здатності. З огляду на це форма деталі розроблена таким чином, щоб забезпечити необхідну жорсткість при відносно невеликих габаритах і сприятливих умовах виготовлення литтям.

Для отримання вилівка обрано високоміцний чавун марки ВЧ450-10. Даний матеріал характеризується наявністю кулястого графіту в структурі, що забезпечує вищі механічні властивості порівняно із сірими чавунами. Поєднання достатньої межі міцності, пластичності, зносостійкості та добрих ливарних властивостей робить ВЧ450-10 доцільним матеріалом для виготовлення важелів та інших деталей, які працюють в умовах динамічних навантажень.

Отже, деталь «Важіль» є відповідальним елементом механічних систем, до якого висуваються підвищені вимоги щодо міцності, точності виготовлення та довговічності. Забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик можливе лише за умови раціонального вибору матеріалу та розроблення

ефективної технології виготовлення виливка, що дозволить отримати якісну продукцію з мінімальною кількістю дефектів.

## 1.2 Аналіз конструкції деталі

Деталі типу важелів належать до поширених елементів машин і механізмів та використовуються для передавання зусиль і руху між окремими ланками механічних систем. Вони широко застосовуються у приводних механізмах, системах керування, технологічному обладнанні, транспортних машинах та інших технічних пристроях. Конструкція важелів повинна забезпечувати достатню міцність, жорсткість, надійність роботи та мінімальну масу виробу. Типова конструктивна схема деталі «Важіль» наведено на рис. 1.2.

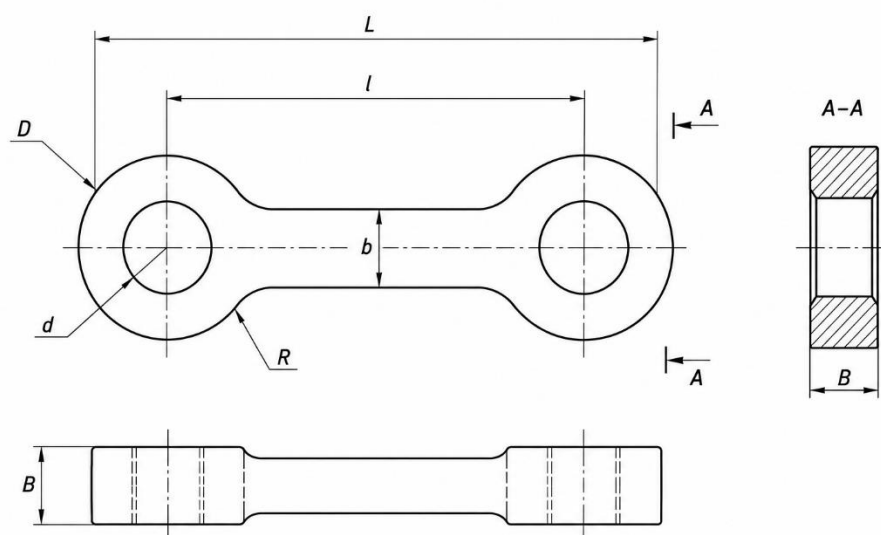


Рисунок 1.2 – Типова конструктивна схема важеля

Конструкція деталі характеризується симетричною будовою та складається з основних робочих елементів, які забезпечують передавання навантажень між спряженими деталями механізму. Форма виробу є достатньо простою та містить переважно поверхні обертання і плоскі поверхні, що позитивно впливає на технологічність виготовлення.

Важливою особливістю конструкції є наявність посадкових поверхонь, які забезпечують точність установлення важеля у вузлі та потребують подальшої механічної обробки. Крім того, конструкція деталі забезпечує рівномірний

розподіл навантажень під час роботи та сприяє підвищенню довговічності виробу.

З точки зору ливарної технології конструкція деталі має низку переваг. Насамперед слід відзначити відсутність внутрішніх замкнених порожнин, піднутрень та складних виступів, які могли б ускладнити процес формування. Конструкція дозволяє виготовляти відливки у звичайній двоопочній формі без застосування складних стрижневих комплектів. Формування отворів може здійснюватися як подальшою механічною обробкою, так і використанням простих стрижнів залежно від прийнятої технології виготовлення.

Характерною особливістю деталі є достатньо рівномірний розподіл металу по об'єму виробу. Відсутність різких переходів між окремими елементами сприяє більш рівномірному охолодженню вилівка та знижує ймовірність виникнення внутрішніх напружень. Плавні переходи між бобишками та перемичкою створюють сприятливі умови для кристалізації металу та зменшують ризик утворення усадкових дефектів.

Невеликі габаритні розміри деталі та її компактна форма забезпечують добрі умови заповнення порожнини форми рідким металом. Це особливо важливо під час виготовлення відливіків із високоміцного чавуну ВЧ450-10, для якого стабільність процесу заливання та охолодження безпосередньо впливає на формування структури металу та рівень механічних властивостей готового виробу.

Аналіз конструкції показує, що більшість поверхонь мають вільний вихід із форми, що дозволяє застосувати просту горизонтальну площину рознімання. Таке технологічне рішення спрощує виготовлення модельного комплекту, складання форми та подальше вилучення моделі. Крім того, симетрична будова відливка створює сприятливі умови для раціонального розташування ливниково-живильної системи та забезпечення рівномірного заповнення форми.

Таким чином, деталь «Важіль» характеризується раціональною конструкцією, що відповідає вимогам ливарного виробництва. Простота геометричної форми, відсутність складних внутрішніх елементів, рівномірний розподіл маси та можливість використання простої технологічної оснастки

свідчать про високу технологічність виробу. Це створює необхідні передумови для розроблення ефективної технології виготовлення відливка з високоміцного чавуну ВЧ450-10 та отримання якісної продукції із заданими експлуатаційними характеристиками.

### **1.3 Аналіз матеріалу ВЧ450-10 та оцінка технологічності конструкції**

Вибір матеріалу є одним із найважливіших етапів проектування деталей машин, оскільки саме властивості матеріалу визначають несучу здатність виробу, його довговічність, надійність роботи та технологічні особливості виготовлення. Для виготовлення деталі «Важіль» у даній роботі прийнято високоміцний чавун марки ВЧ450-10, який широко застосовується для виробництва відповідальних фасонних виливків, що працюють в умовах статичних, динамічних та циклічних навантажень.

Високоміцний чавун ВЧ450-10 належить до групи чавунів із кулястою формою графіту. На відміну від сірих чавунів, у яких графіт має пластинчасту будову і створює концентрацію напружень у металевій основі, кулястий графіт значно менше послаблює структуру матеріалу. Завдяки цьому високоміцний чавун характеризується підвищеними показниками міцності, пластичності та опору втомному руйнуванню.

Мікроструктура високоміцного чавуну складається з металевої основи та рівномірно розподілених графітових включень сферичної форми. Залежно від режимів кристалізації та хімічного складу металева основа може бути феритною, ферито-перлітною або перлітною. Для чавуну ВЧ450-10 характерною є переважно феритна або ферито-перлітна структура, яка забезпечує оптимальне поєднання міцності та пластичності. Сферична форма графіту сприяє рівномірному розподілу навантаження в об'ємі металу та підвищує стійкість матеріалу до виникнення тріщин.

Застосування високоміцного чавуну ВЧ450-10 для виготовлення важеля обумовлене умовами його експлуатації. У процесі роботи деталь сприймає навантаження на розтяг, стиск і вигин, а також зазнає багаторазових циклічних

впливів. За таких умов матеріал повинен забезпечувати не лише достатню міцність, але й здатність протистояти втомному руйнуванню та ударним навантаженням. Високоміцний чавун успішно поєднує ці властивості з добрими ливарними характеристиками, що робить його ефективним матеріалом для виробництва фасонних відливків. Орієнтовний хімічний склад високоміцного чавуну ВЧ450-10 наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад високоміцного чавуну ВЧ450-10

Елемент	C	Si	Mn	P	S
Вміст, %	3,4–3,9	2,1–2,9	0,2–0,6	≤0,08	≤0,02

Вуглець і кремній забезпечують процес графітизації та формування сфероїдального графіту. Марганець сприяє підвищенню міцності металевої основи, тоді як вміст фосфору та сірки суворо обмежується через їх негативний вплив на пластичність і якість відливків. Основні механічні властивості чавуну ВЧ450-10 наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні механічні властивості високоміцного чавуну ВЧ450-10

Показник	Значення
Тимчасовий опір розриву $\sigma_b$ , МПа	не менше 450
Відносне подовження $\delta$ , %	не менше 10
Межа текучості $\sigma_{0,2}$ , МПа	не менше 300
Твердість НВ	140...220
Густина, кг/м <sup>3</sup>	7100...7300

Порівняно із сірими чавунами матеріал ВЧ450-10 має значно вищу міцність та пластичність, що дозволяє використовувати його для виготовлення деталей, які працюють під підвищеним навантаженням. Водночас він зберігає переваги чавунів як ливарного матеріалу — добру рідкотекучість, достатню заповнюваність форми та порівняно невелику усадку.

Оцінка технологічності конструкції показує, що деталь «Важіль» добре пристосована для виготовлення методом лиття. Конструкція характеризується простими геометричними формами, відсутністю складних внутрішніх порожнин

та піднутрень, а також симетричним розташуванням основних елементів. Такі особливості спрощують виготовлення модельного комплекту та ливарної форми.

Виріб має достатньо рівномірний розподіл товщин стінок і не містить значних локальних потовщень, які могли б стати причиною утворення усадкових дефектів. Невеликі габаритні розміри та проста конфігурація створюють сприятливі умови для рівномірного заповнення форми металом і подальшого охолодження відливка.

Важливою перевагою конструкції є можливість використання простої горизонтальної площини рознімання та відсутність необхідності застосування складних стрижневих систем. Це дозволяє знизити трудомісткість виготовлення оснащення, підвищити стабільність процесу формування та зменшити ймовірність виникнення ливарних дефектів.

Таким чином, високоміцний чавун ВЧ450-10 повністю відповідає умовам експлуатації деталі «Важіль» і забезпечує необхідний комплекс механічних та технологічних властивостей. Проведений аналіз конструкції свідчить про її високу технологічність для виготовлення методом лиття у піщано-глинисті форми, що створює необхідні передумови для отримання якісного відливка із заданими експлуатаційними характеристиками.

## **Висновки до розділу 1**

У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз конструкції деталі «Важіль», умов її експлуатації та вимог, які висуваються до майбутнього відливка. Встановлено, що деталь належить до відповідальних елементів механізмів, призначених для передавання механічних навантажень між окремими ланками конструкції. Під час роботи важіль сприймає навантаження на розтяг, стиск і вигин, що обумовлює необхідність забезпечення достатньої міцності, жорсткості та довговічності виробу.

Аналіз робочого креслення показав, що конструкція деталі характеризується простотою геометричної форми, симетричністю відносно поздовжньої осі, відсутністю складних внутрішніх порожнин та піднутрень. Такі

особливості сприяють спрощенню процесу формування, забезпечують можливість використання простої площини рознімання та створюють сприятливі умови для отримання якісного відливка.

Для виготовлення деталі обрано високоміцний чавун марки ВЧ450-10, який характеризується високими механічними властивостями, достатньою пластичністю, добрими ливарними характеристиками та стійкістю до дії змінних навантажень. Аналіз властивостей матеріалу підтвердив доцільність його використання для виготовлення важеля, що працює в умовах експлуатаційних навантажень.

Проведена оцінка технологічності конструкції показала, що деталь є придатною для виготовлення методом лиття в піщано-глинисті форми. Геометрія виробу забезпечує можливість застосування раціональної технологічної схеми формування, ефективної ливниково-живильної системи та подальшого отримання відливка із заданими експлуатаційними характеристиками.

Отже, результати виконаного аналізу підтверджують можливість розроблення ефективної технології виготовлення відливка «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10 та створюють необхідне підґрунтя для проектування відливка і ливарної форми в наступних розділах роботи.

## РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДЛИВКА

### 2.1 Аналіз конструкції відливка та технічних вимог

Відливок «Важіль» належить до групи фасонних відливоків із високоміцного чавуну та призначений для подальшого виготовлення однойменної деталі машинобудівного призначення. Виріб працює в умовах дії статичних і змінних навантажень, тому до відливка висуваються підвищені вимоги щодо механічних властивостей, точності геометричних розмірів та відсутності внутрішніх і поверхневих дефектів.

Для виготовлення відливка прийнято високоміцний чавун марки ВЧ450-10, який забезпечує необхідний рівень міцності, пластичності та експлуатаційної надійності. Використання даного матеріалу дозволяє отримати відливок із достатньою стійкістю до дії циклічних навантажень, що є важливим для деталей важільного типу.

До якості відливка висуваються вимоги щодо відсутності тріщин, усадкових раковин, газової пористості, шлакових включень, пригару та інших дефектів, які можуть негативно впливати на працездатність виробу. Після очищення поверхня відливка повинна бути рівномірною та не містити залишків формувальної суміші, окалини та механічних пошкоджень. Робоче креслення відливка наведено на рис. 2.1.

Аналіз конструкції показує, що відливок має порівняно просту геометричну форму та складається з двох циліндричних бобишок, з'єднаних між собою перемичкою прямокутного перерізу. Загальна довжина виробу становить 145 мм, міжосьова відстань між центрами отворів – 105 мм. Зовнішній діаметр бобишок дорівнює 35 мм, а товщина перемички становить 12 мм.

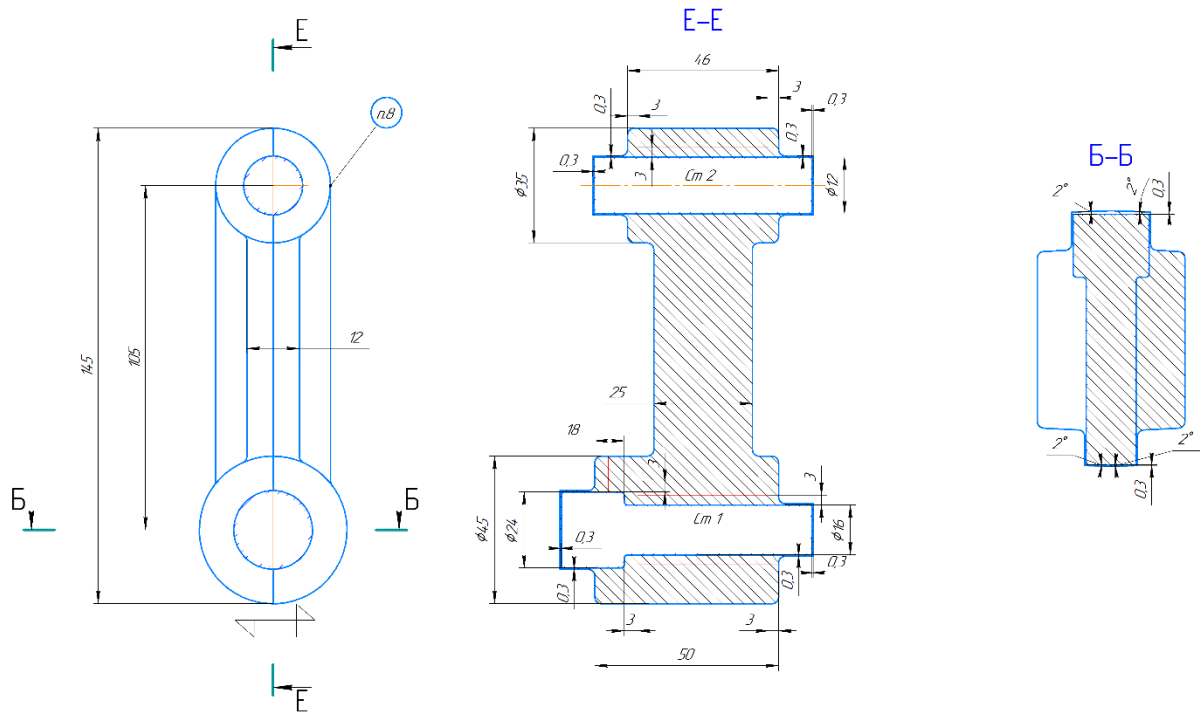


Рисунок 2.1 – Робоче креслення відливка «Важіль»

Конструкція відливка характеризується симетричністю відносно поздовжньої осі, що є позитивним фактором з точки зору ливарної технології. Таке виконання сприяє рівномірному заповненню порожнини форми рідким металом та забезпечує однакові умови охолодження обох частин відливка.

Відповідальними поверхнями виробу є отвори та торцеві площини бобишок, які після лиття підлягають механічній обробці для досягнення необхідної точності та шорсткості. У зв'язку з цим під час проєктування відливка необхідно передбачити відповідні припуски на механічну обробку. Решта поверхонь можуть формуватися безпосередньо в ливарній формі без подальшої обробки різанням.

З точки зору технології лиття конструкція відливка є достатньо раціональною. Виріб не містить складних внутрішніх порожнин, піднутрень або елементів, які потребували б використання спеціальних знімних частин модельного оснащення. Це дозволяє застосувати просту двоопочну форму з горизонтальною площиною рознімання та спростити виготовлення технологічної оснастки.

Конструкція характеризується відносно рівномірним розподілом металу по об'єму відливка. Відсутність значних місцевих потовщень сприяє рівномірній кристалізації та зменшує ймовірність виникнення усадкових дефектів. Плавні переходи між бобишками та перемичкою забезпечують сприятливі умови для тверднення металу та знижують концентрацію внутрішніх напружень.

Невеликі габаритні розміри виробу дозволяють використовувати групове розташування відливоків у формі. У розробленій технології передбачено одночасне виготовлення восьми відливоків в одній ливарній формі, що забезпечує підвищення продуктивності процесу та більш раціональне використання рідкого металу.

Проведений аналіз показав, що конструкція відливка «Важіль» відповідає вимогам ливарної технологічності та створює сприятливі умови для виготовлення методом лиття в піщано-глинисті форми. Геометричні особливості виробу дозволяють застосувати просту схему формування, раціонально спроектувати ливниково-живильну систему та забезпечити отримання якісних відливоків із високоміцного чавуну ВЧ450-10.

## **2.2 Вибір способу виготовлення відливка**

Прийняття способу виготовлення відливка базується на аналізі конструктивних особливостей деталі, властивостей матеріалу, вимог до точності та якості поверхні, а також виробничих умов і економічної ефективності технологічного процесу. Обраний метод повинен забезпечувати отримання відливка необхідної конфігурації при мінімальних витратах на виготовлення та подальшу механічну обробку.

Відлинок «Важіль» виготовляється з високоміцного чавуну марки ВЧ450-10 та належить до деталей середньої складності. Конструкція виробу характеризується наявністю двох бобишок, з'єднаних між собою перемичкою, а також наскрізних отворів, які після лиття підлягають механічній обробці. Деталь працює в умовах дії змінних навантажень, тому до матеріалу та якості відливка висуваються підвищені вимоги щодо міцності, точності та надійності.

Для виготовлення таких деталей можуть застосовуватись різні ливарні технології, зокрема лиття в кокіль, оболонкові форми, за виплавленими моделями та в піщані форми. Проте з урахуванням матеріалу відливка, його конструкції, маси та характеру виробництва найбільш раціональним є використання лиття в піщано-глинисті форми.

Застосування піщано-глинистих форм дозволяє отримувати відливки необхідної конфігурації з мінімальними витратами на виготовлення оснащення. Даний спосіб є універсальним для виробництва відливків із високоміцного чавуну та забезпечує достатню точність розмірів, якість поверхні й стабільність технологічного процесу.

Для виготовлення форм приймається машинний спосіб формування. Використання механізованого ущільнення формувальної суміші забезпечує рівномірну щільність форми, покращує якість поверхні відливків та підвищує продуктивність праці. Крім того, машинне формування сприяє стабільності геометричних параметрів виробів і зменшує ймовірність виникнення дефектів, пов'язаних із нерівномірним ущільненням суміші.

Конструкція відливка не містить складних внутрішніх замкнених порожнин, тому виготовлення форми не потребує застосування складного стрижневого оснащення. Це спрощує технологію формування та знижує трудомісткість виробництва. Отвори в бобишках доцільно отримувати шляхом подальшої механічної обробки, що забезпечує необхідну точність їх розмірів і взаємного розташування.

Отже, для виготовлення відливка «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10 прийнято технологію лиття в піщано-глинисті форми з використанням машинного формування. Обраний спосіб забезпечує отримання якісного відливка з необхідними експлуатаційними характеристиками, відповідає вимогам виробництва та є економічно доцільним для реалізації поставленого технологічного завдання.

## 2.3 Вибір положення відливка у формі та площини роз'єму

Одним із важливих етапів розроблення технології лиття є вибір раціонального положення відливка у формі та визначення площини роз'єму. Від правильності прийнятого рішення залежать умови заповнення форми металом, характер кристалізації відливка, можливість розміщення ливниково-живильної системи, складність модельного оснащення та якість готового виробу.

Під час вибору положення відливка необхідно забезпечити простоту формування, зручність складання форми, мінімальну кількість дефектів та сприятливі умови для подальшої механічної обробки. Крім того, важливим є забезпечення вільного вилучення моделі з форми без руйнування формувальної суміші та можливість застосування простої площини роз'єму.

Конструкція відливка «Важіль» характеризується симетричною формою, відсутністю складних внутрішніх порожнин та піднутрень, що значно спрощує вибір положення у формі. Для даного відливка прийнято горизонтальне розташування у ливарній формі, при якому поздовжня вісь важеля знаходиться в площині роз'єму форми. Таке рішення забезпечує рівномірний розподіл металу під час заливання та створює сприятливі умови для охолодження відливка. Схему розташування відливка у формі наведено на рис. 2.2.

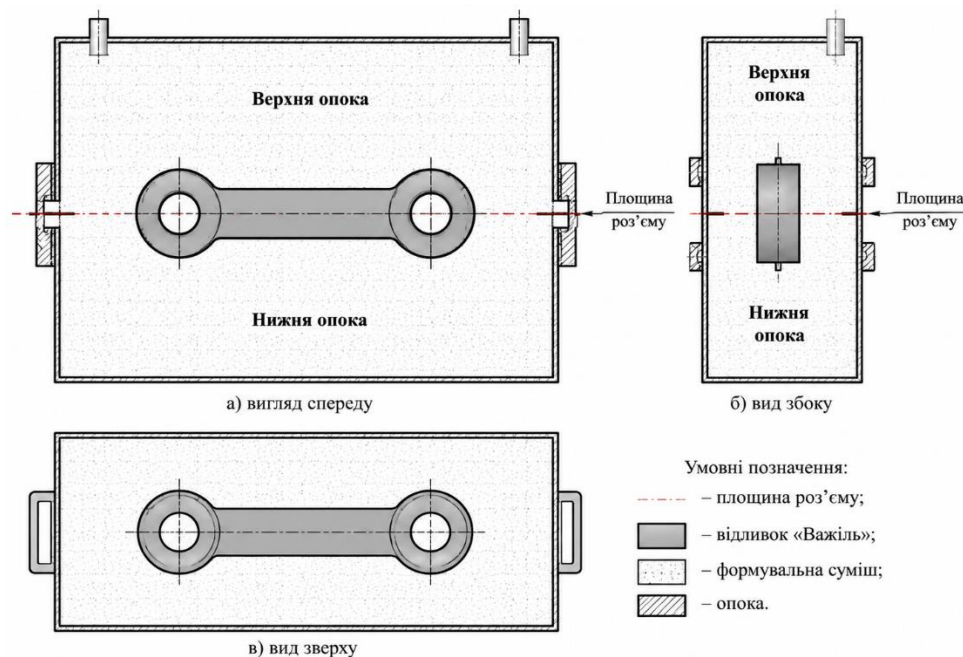


Рисунок 2.2 – Положення відливка «Важіль» у ливарній формі та площина роз'єму

Прийнята площина роз'єму проходить через поздовжню вісь симетрії відливка та ділить його на дві приблизно рівні частини. Таке розташування дозволяє виконати формування без застосування складних елементів оснащення та забезпечує зручне вилучення моделі з напівформ.

Однією з переваг обраного варіанта є можливість виготовлення відливка без використання складних стрижневих комплектів. Основні елементи конструкції формуються безпосередньо в порожнині форми, що знижує трудомісткість виготовлення оснащення та підвищує стабільність технологічного процесу.

Важливим фактором є також розташування поверхонь, які в подальшому підлягають механічній обробці. Отвори та торцеві поверхні бобишок розміщені таким чином, щоб забезпечити рівномірне заповнення форми металом і мінімізувати вплив можливих поверхневих дефектів на відповідальні елементи конструкції.

Прийняте положення відливка забезпечує можливість раціонального підведення металу через ливниково-живильну систему, що особливо важливо з урахуванням групового розташування восьми відливоків у формі. Симетрична конфігурація виробу сприяє однаковим умовам заповнення та охолодження кожного відливка, що позитивно впливає на стабільність їхніх геометричних параметрів та якість металу.

Крім того, горизонтальна площина роз'єму забезпечує рівномірне ущільнення формувальної суміші навколо моделі, спрощує складання опок та дозволяє зменшити ймовірність зміщення напівформ під час заливання металу.

Таким чином, для відливка «Важіль» прийнято горизонтальне положення у формі та горизонтальну площину роз'єму, що проходить через вісь симетрії виробу. Обране рішення повністю відповідає конструктивним особливостям відливка, забезпечує простоту формування, зручність виготовлення оснащення та створює необхідні умови для отримання якісних відливоків із високоміцного чавуну ВЧ450-10.

## **2.4 Визначення припусків на механічну обробку, формувальних ухилів та ливарної усадки**

Під час розроблення креслення відливка необхідно врахувати особливості ливарного виробництва та забезпечити можливість отримання готової деталі після механічної обробки. З цією метою на оброблювані поверхні призначаються припуски, на вертикальні поверхні – формувальні ухили, а всі розміри відливка коригуються з урахуванням ливарної усадки матеріалу.

Відливки «Важіль» виготовляється з високоміцного чавуну ВЧ450-10 литтям у піщано-глинисті форми. Відповідно до вимог ливарної технології та з урахуванням габаритних розмірів виробу для поверхонь, що підлягають подальшій механічній обробці, призначаються припуски величиною 3 мм на сторону.

До поверхонь, що підлягають механічній обробці, належать отвори  $\varnothing 20H7$  у бобишках та їх торцеві поверхні. Призначені припуски забезпечують видалення поверхневого шару металу, компенсацію можливих похибок лиття та отримання необхідної точності після виконання механічної обробки.

Для забезпечення вільного вилучення моделі з форми на вертикальних поверхнях передбачаються формувальні ухили. Величина ухилів приймається відповідно до рекомендацій для ручного та машинного формування. Для зовнішніх поверхонь відливка призначаються ухили  $1^\circ$ , що забезпечує надійне вилучення моделі без руйнування формувальної суміші та погіршення геометрії відбитка.

Під час проєктування відливка необхідно також враховувати лінійну усадку високоміцного чавуну. Для чавуну марки ВЧ450-10 приймається ливарна усадка 1 %. У зв'язку з цим усі розміри модельного комплексу збільшуються на величину усадки для компенсації зменшення розмірів відливка під час охолодження та кристалізації металу. Прийняті модельно-ливарні вказівки наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Модельно-ливарні вказівки для відливка «Важіль»

Параметр	Значення
Матеріал відливка	ВЧ450-10
Спосіб лиття	У піщано-глинисті форми
Ливарна усадка	1 %
Припуск на механічну обробку	3 мм
Формувальний ухил зовнішніх поверхонь	1°
Клас точності відливка	11–12
Клас шорсткості поверхні відливка	Rz 320–640

На основі прийнятих припусків, формувальних ухилів та усадки було розроблено креслення відливка, яке наведено на рис. 2.3.

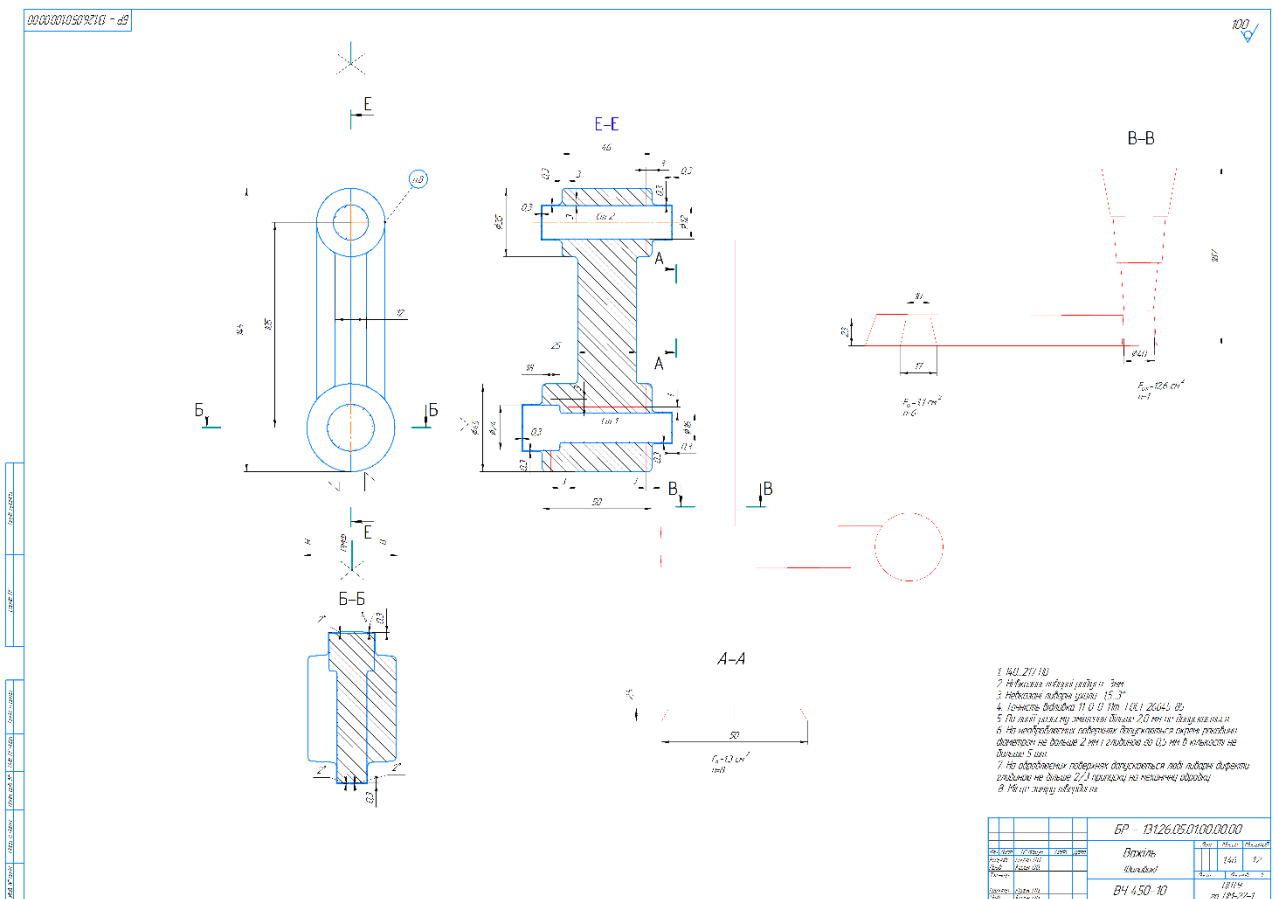


Рисунок 2.3 – Креслення відливка «Важіль» з модельно-ливарними вказівками

Таким чином, призначені модельно-ливарні вказівки забезпечують отримання відливка необхідних розмірів і форми, створюють умови для виконання подальшої механічної обробки та гарантують відповідність готової деталі вимогам робочого креслення.

## 2.5 Розрахунок ливниково-живильної системи

### 2.5.1 Визначення маси відливка

Розрахунок ливниково-живильної системи починаємо із визначення маси відливка, оскільки цей параметр використовується під час вибору часу заливання, розрахунку площ поперечних перерізів елементів ливникової системи та визначення загальної кількості металу, необхідної для заповнення форми.

Відливочок «Важіль» складається з двох циліндричних бобишок та перемички, що з'єднує їх між собою. Для визначення маси відливка його умовно поділяємо на окремі геометричні елементи.

Об'єм однієї бобишки визначаємо за формулою:

$$V_1 = (\pi \cdot D^2 / 4) \cdot l, \quad (2.1)$$

де,  $D = 35$  мм – зовнішній діаметр бобишки;  $l = 50$  мм – довжина бобишки.

Підставляємо значення:

$$V_1 = (3,14 \cdot 35^2 / 4) \cdot 50 = 48081 \text{ мм}^3$$

Оскільки відливочок містить дві бобишки:

$$V_6 = 2 \cdot V_1 = 2 \cdot 48081 = 96162 \text{ мм}^3 \quad (2.2)$$

Об'єм перемички визначаємо як:

$$V_{\Pi} = a \cdot b \cdot l, \quad (2.3)$$

де  $a = 12$  мм – товщина перемички;  $b = 12$  мм – ширина перемички;  $l = 70$  мм – довжина перемички.

Тоді:

$$V_{\Pi} = 12 \cdot 12 \cdot 70 = 10080 \text{ мм}^3$$

Загальний об'єм відливка:

$$V = V_6 + V_{\Pi}, \quad (2.4)$$

$$V = 96162 + 10080 = 106242 \text{ мм}^3$$

або

$$V = 106,24 \text{ см}^3$$

Маса відливка визначається за формулою:

$$m = V \cdot \rho, \quad (2.5)$$

де  $\rho = 7,2 \text{ г/см}^3$  – густина високоміцного чавуну ВЧ450-10.

Підставляємо значення:

$$m = 106,24 \cdot 7,2 = 764,9 \text{ г}$$

або

$$m = 0,765 \text{ кг}$$

Отже, маса одного відливка становить:

$$m = 0,765 \text{ кг}$$

Оскільки в одній ливарній формі розташовано вісім відливоків, загальна маса металу у відливках дорівнює:

$$m_{\Sigma} = 8 \cdot m, \quad (2.6)$$

$$m_{\Sigma} = 8 \cdot 0,765 = 6,12 \text{ кг}$$

Таким чином, сумарна маса восьми відливоків «Важіль» становить 6,12 кг, що використовується для подальшого розрахунку параметрів ливниково-живильної системи.

### 2.5.2 Визначення часу заливання форми

Час заливання є одним із найважливіших параметрів технологічного процесу лиття, оскільки впливає на якість заповнення порожнини форми, умови кристалізації металу та ймовірність утворення ливарних дефектів. Надто швидке заливання може спричинити турбулентний рух металу та захоплення повітря, а надто повільне — призвести до передчасного охолодження розплаву та виникнення недоливів.

Для чавунних відливоків невеликої маси час заливання визначають за емпіричною залежністю:

$$\tau = S \cdot \sqrt{G}, \quad (2.7)$$

де  $\tau$  – час заливання форми, с;  $S$  – коефіцієнт, який залежить від виду сплаву та маси відливка;  $G$  – маса металу, що заливається у форму, кг.

Для високоміцного чавуну при виготовленні дрібних та середніх відливоків приймаємо:  $S = 1,5$

Маса восьми відливоків, визначена в п. 2.5.1:

$$G = 6,12 \text{ кг}$$

Тоді:

$$\tau = 1,5 \cdot \sqrt{6,12}$$

$$\tau = 1,5 \cdot 2,47$$

$$\tau = 3,71 \text{ с}$$

Приймаємо:  $\tau = 4 \text{ с}$

Отримане значення відповідає рекомендаціям для лиття відливків із високоміцного чавуну в піщано-глинисті форми та забезпечує достатню швидкість заповнення порожнини форми без виникнення передчасного охолодження металу.

Прийнятий час заливання надалі використовується під час розрахунку площ поперечних перерізів живильників, шлаковловлювача та стояка ливниково-живильної системи.

### 2.5.3 Розрахунок площі живильників

Після визначення часу заливання форми виконують розрахунок сумарної площі поперечного перерізу живильників. Живильники забезпечують підведення розплавленого металу безпосередньо до порожнин форми та повинні створювати умови для рівномірного заповнення всіх відливків.

Сумарну площу поперечного перерізу живильників визначають за формулою:

$$F_{\text{ж}} = G / (\mu \cdot \tau \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}), \quad (2.8)$$

де  $G$  – маса металу, що заливається у форму, кг;  $\mu$  – коефіцієнт витрати металу;  $\tau$  – час заливання форми, с;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $H_p$  – середній металостатичний напір, м.

Для розрахунку приймаємо:

$$G = 6,12 \text{ кг};$$

$$\mu = 0,40;$$

$$\tau = 4 \text{ с};$$

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2.$$

Середній металостатичний напір визначають за формулою:

$$H_p = h - (C/2), \quad (2.9)$$

де  $h$  – висота стовпа металу над відливком, м;  $C$  – висота відливка, м.

Для прийнятої конструкції форми:

$$h = 0,20 \text{ м};$$

$$C = 0,05 \text{ м}.$$

$$\text{Тоді: } H_p = 0,20 - 0,05/2 = 0,175 \text{ м}$$

Підставляючи отримані значення, одержуємо розрахункову площу живильників.

За результатами розрахунку та з урахуванням конструкції форми на вісім відливоків приймаємо сумарну площу поперечного перерізу живильників:

$$F_{\text{ж}} = 3,1 \text{ см}^2$$

Отримане значення забезпечує необхідну витрату металу та відповідає прийнятій схемі нижнього підведення металу до відливоків.

Прийнята площа живильників використовується під час подальшого визначення розмірів шлаковловлювача та стояка ливниково-живильної системи.

#### 2.5.4 Розрахунок площі шлаковловлювача

Наступним етапом розрахунку ливниково-живильної системи є визначення площі поперечного перерізу шлаковловлювача. Шлаковловлювач призначений для затримання неметалевих включень, частинок шлаку та продуктів окиснення металу, які можуть потрапляти до форми під час заливання. Його застосування сприяє підвищенню якості відливоків та зменшенню ймовірності утворення внутрішніх дефектів.

Для чавунних відливоків із нижнім підведенням металу площу поперечного перерізу шлаковловлювача визначають відповідно до прийнятого співвідношення елементів ливникової системи:

$$F_{\text{ж}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}} = 1 : 2 : 4, \quad (2.10)$$

де,  $F_{\text{ж}}$  – сумарна площа живильників,  $\text{см}^2$ ;  $F_{\text{ш}}$  – площа шлаковловлювача,  $\text{см}^2$ ;  $F_{\text{с}}$  – площа стояка,  $\text{см}^2$ .

Згідно з результатами попереднього розрахунку:

$$F_{\text{ж}} = 3,1 \text{ см}^2$$

Тоді площа поперечного перерізу шлаковловлювача становить:

$$F_{\text{ш}} = 2 \cdot F_{\text{ж}}, \quad (2.11)$$

$$F_{\text{ш}} = 2 \cdot 3,1 = 6,2 \text{ см}^2$$

З урахуванням округлення та прийнятих конструктивних розмірів ливникової системи приймаємо:  $F_{\text{ш}} = 6,3 \text{ см}^2$

Для забезпечення стабільного руху металу та ефективного затримання шлакових включень шлаковловлювач прийнято трапецієподібного поперечного перерізу. Така форма є технологічною для виготовлення у піщано-глинистих формах та забезпечує поступове зменшення швидкості потоку металу.

Розраховане значення площі шлаковловлювача відповідає прийнятій конструкції ливниково-живильної системи та забезпечує необхідні умови для очищення металу перед його надходженням до живильників.

Отримане значення використовується під час подальшого розрахунку площі поперечного перерізу стояка.

Приймаємо:  $F_{\text{ш}} = 6,3 \text{ см}^2$ , що відповідає розмірам шлаковловлювача, наведеним на кресленні ливниково-живильної системи.

### 2.5.5 Розрахунок стояка

Наступним етапом розрахунку ливниково-живильної системи є визначення площі поперечного перерізу стояка. Стояк призначений для подавання розплавленого металу від ливникової чаші до шлаковловлювача та живильників і забезпечує безперервне надходження металу до порожнини форми протягом усього процесу заливання.

Площа поперечного перерізу стояка визначається відповідно до прийнятого співвідношення елементів ливникової системи для чавунних відливків:

$$F_{\text{ж}} : F_{\text{ш}} : F_{\text{с}} = 1 : 2 : 4, \quad (2.12)$$

де,  $F_{\text{ж}}$  – сумарна площа живильників,  $\text{см}^2$ ;  $F_{\text{ш}}$  – площа шлаковловлювача,  $\text{см}^2$ ;  $F_{\text{с}}$  – площа поперечного перерізу стояка,  $\text{см}^2$ .

Згідно з попередніми розрахунками:

$$F_{\text{ж}} = 3,1 \text{ см}^2$$

Тоді площа поперечного перерізу стояка становить:

$$F_c = 4 \cdot F_{ж}, \quad (2.13)$$

$$F_c = 4 \cdot 3,1 = 12,4 \text{ см}^2$$

З урахуванням округлення та конструктивних особливостей ливниково-живильної системи приймаємо:

$$F_c = 12,6 \text{ см}^2$$

Стояк приймається круглого поперечного перерізу. Його діаметр визначається за формулою:

$$F_c = (\pi \cdot d^2)/4, \quad (2.14)$$

звідки

$$d = \sqrt{(4 \cdot F_c/\pi)}, \quad (2.15)$$

Підставляємо отримане значення:

$$d = \sqrt{(4 \cdot 12,6/3,14)}$$

$$d = \sqrt{16,05}$$

$$d = 4,0 \text{ см, або } d = 40 \text{ мм}$$

Отримане значення відповідає умовам стабільного руху металу в ливниковій системі та забезпечує необхідну продуктивність під час заливання форми.

З урахуванням технологічних вимог та розмірів модельного оснащення остаточно приймаємо:  $d = 40 \text{ мм}$

Прийнята площа поперечного перерізу стояка та його діаметр відповідають конструкції ливниково-живильної системи, наведеній на кресленні відливка, та забезпечують рівномірне заповнення форми розплавленим металом.

Таким чином, для проєктованої ливниково-живильної системи прийнято:

$$F_c = 12,6 \text{ см}^2;$$

$$d = 40 \text{ мм.}$$

## 2.5.6 Визначення розмірів ливникової чаші

Завершальним етапом розрахунку ливниково-живильної системи є визначення геометричних параметрів ливникової чаші. Ливникова чаша призначена для приймання розплавленого металу з ковша та його подальшого подавання до стояка. Її використання забезпечує більш спокійний рух металу в

ливниковій системі, сприяє затриманню шлакових включень та зменшує ймовірність захоплення повітря під час заливання форми.

Правильно спроектована ливникова чаша повинна створювати запас металу над стояком і забезпечувати безперервне надходження розплаву протягом усього часу заливання. Це особливо важливо під час виготовлення відливків із високоміцного чавуну ВЧ450-10, оскільки стабільність процесу заливання безпосередньо впливає на якість готових виробів.

Діаметр ливникової чаші визначають за залежністю:

$$D_{\text{ч}} = (2,5 \dots 3,0) \cdot d, \quad (2.16)$$

де:  $D_{\text{ч}}$  – діаметр ливникової чаші, мм;  $d$  – діаметр стояка, мм.

Згідно з результатами попереднього розрахунку:

$$d = 40 \text{ мм}$$

Приймаємо коефіцієнт:

$$k = 3$$

Тоді

$$D_{\text{ч}} = 3 \cdot 40 = 120 \text{ мм}$$

Глибину ливникової чаші визначають за співвідношенням:

$$h_{\text{ч}} = (0,8 \dots 1,0) \cdot d, \quad (2.17)$$

Приймаємо:

$$h_{\text{ч}} = 40 \text{ мм}$$

Для забезпечення зручності заливання та необхідного запасу металу остаточно приймаємо такі розміри ливникової чаші:

- діаметр чаші  $D_{\text{ч}} = 120$  мм;
- глибина чаші  $h_{\text{ч}} = 40$  мм.

Прийняті розміри забезпечують безперервне надходження металу до стояка, сприяють затриманню шлакових включень і створюють сприятливі умови для рівномірного заповнення порожнин форми.

Таким чином, у результаті розрахунку ливниково-живильної системи визначено основні параметри її елементів:

- площа живильників  $F_{\text{ж}} = 3,1 \text{ см}^2$ ;
- площа шлаковловлювача  $F_{\text{ш}} = 6,3 \text{ см}^2$ ;

- площа стояка  $F_c = 12,6 \text{ см}^2$ ;
- діаметр стояка  $d = 40 \text{ мм}$ ;
- діаметр ливникової чаші  $D_{ч} = 120 \text{ мм}$ ;
- глибина ливникової чаші  $h_{ч} = 40 \text{ мм}$ .

Прийнята конструкція ливниково-живильної системи забезпечує рівномірне заповнення форми, сприяє очищенню металу від неметалевих включень та створює необхідні умови для отримання якісних відливків «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10.

Таким чином, у результаті виконаних розрахунків і прийнятих технологічних рішень розроблено раціональну технологію виготовлення відливка «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10, яка забезпечує отримання якісної продукції з необхідними експлуатаційними характеристиками та є основою для подальшого проєктування ливарної форми.

## Висновки до розділу 2

1. Розроблено технологію виготовлення відливка «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10. Проведено аналіз конструкції відливка та встановлено, що його геометрична форма відповідає вимогам ливарної технологічності й забезпечує можливість виготовлення в піщано-глинистих формах із мінімальними витратами на технологічне оснащення.

2. На підставі аналізу конструктивних особливостей виробу обрано спосіб виготовлення відливка литтям у піщано-глинисті форми із застосуванням машинного формування. Даний спосіб забезпечує необхідну якість поверхні, точність геометричних параметрів та економічну ефективність виробництва.

3. Визначено раціональне положення відливка у формі та прийнято горизонтальну площину роз'єму, що проходить через вісь симетрії виробу. Обране рішення забезпечує простоту виготовлення форми, зручність вилучення моделі та сприятливі умови для заповнення порожнини форми металом.

4. Виконано розроблення модельно-ливарних вказівок, зокрема призначено припуски на механічну обробку, формувальні ухили та враховано ливарну усадку високоміцного чавуну ВЧ450-10. Прийняті параметри забезпечують отримання відливка необхідних розмірів і створюють умови для подальшої механічної обробки відповідно до вимог робочого креслення.

5. Проведено розрахунок ливниково-живильної системи для виготовлення восьми відливків в одній формі. У результаті визначено основні параметри її елементів: площу живильників  $F_{ж} = 3,1 \text{ см}^2$ , площу шлаковловлювача  $F_{ш} = 6,3 \text{ см}^2$ , площу стояка  $F_{с} = 12,6 \text{ см}^2$ , діаметр стояка 40 мм, діаметр ливникової чаші 120 мм та її глибину 40 мм. Розраховані параметри забезпечують рівномірне заповнення форми, стабільний рух металу та сприятливі умови для формування якісних відливків.

## **РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВІДЛИВКА**

### **3.1 Конструкція ливарної форми**

Якість відливка значною мірою залежить від правильності проектування ливарної форми, оскільки саме вона забезпечує формування геометрії виробу, розміщення ливниково-живильної системи та створення необхідних умов для нормального перебігу процесів кристалізації й охолодження металу. Під час розроблення конструкції форми необхідно враховувати конфігурацію відливка, властивості сплаву, спосіб формування та вимоги до якості готової продукції.

Для виготовлення відливка «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10 прийнято двоопочну рознімну ливарну форму, яка складається з верхньої та нижньої напівформ. Площина роз'єму прийнята горизонтальною та проходить через поздовжню вісь симетрії відливка. Таке рішення забезпечує простоту формування, полегшує вилучення модельного комплекту та сприяє підвищенню точності отримуваних відливоків.

Під час проектування форми відливки розміщено таким чином, щоб забезпечити рівномірний розподіл формувальної суміші навколо робочих порожнин. Це створює необхідний запас міцності форми, запобігає її руйнуванню під дією металостатичного тиску та забезпечує збереження геометричних параметрів відливоків протягом усього процесу заливання та охолодження.

Важливою особливістю розробленої конструкції є групове розташування восьми відливоків в одній формі. Така схема дозволяє підвищити продуктивність виробництва, більш раціонально використовувати рідкий метал та знизити витрати на виготовлення формувальної оснастки.

У конструкції форми передбачено розміщення елементів ливниково-живильної системи, які забезпечують підведення розплавленого металу до всіх робочих порожнин та його рівномірний розподіл між відливками. Прийнята схема нижнього підведення металу сприяє спокійному заповненню форми,

зменшує інтенсивність окиснення розплаву та знижує ймовірність утворення шлакових і газових дефектів.

Конструкція відливка «Важіль» не містить складних внутрішніх порожнин і піднутрень, тому виготовлення форми не потребує застосування стрижнів або спеціальних рухомих елементів модельної оснастки. Усі поверхні відливка формуються безпосередньо порожнинами верхньої та нижньої напівформ, що спрощує технологію виготовлення та підвищує надійність виробничого процесу.

Для забезпечення точного взаємного розташування напівформ під час складання застосовуються напрямні штифти. Їх використання дозволяє виключити зміщення верхньої та нижньої опок і забезпечити точне суміщення робочих порожнин відливків.

На основі прийнятого положення відливків та розрахованої ливниково-живильної системи була розроблена конструкція ливарної форми, загальний вигляд якої наведено на рис. 3.1.

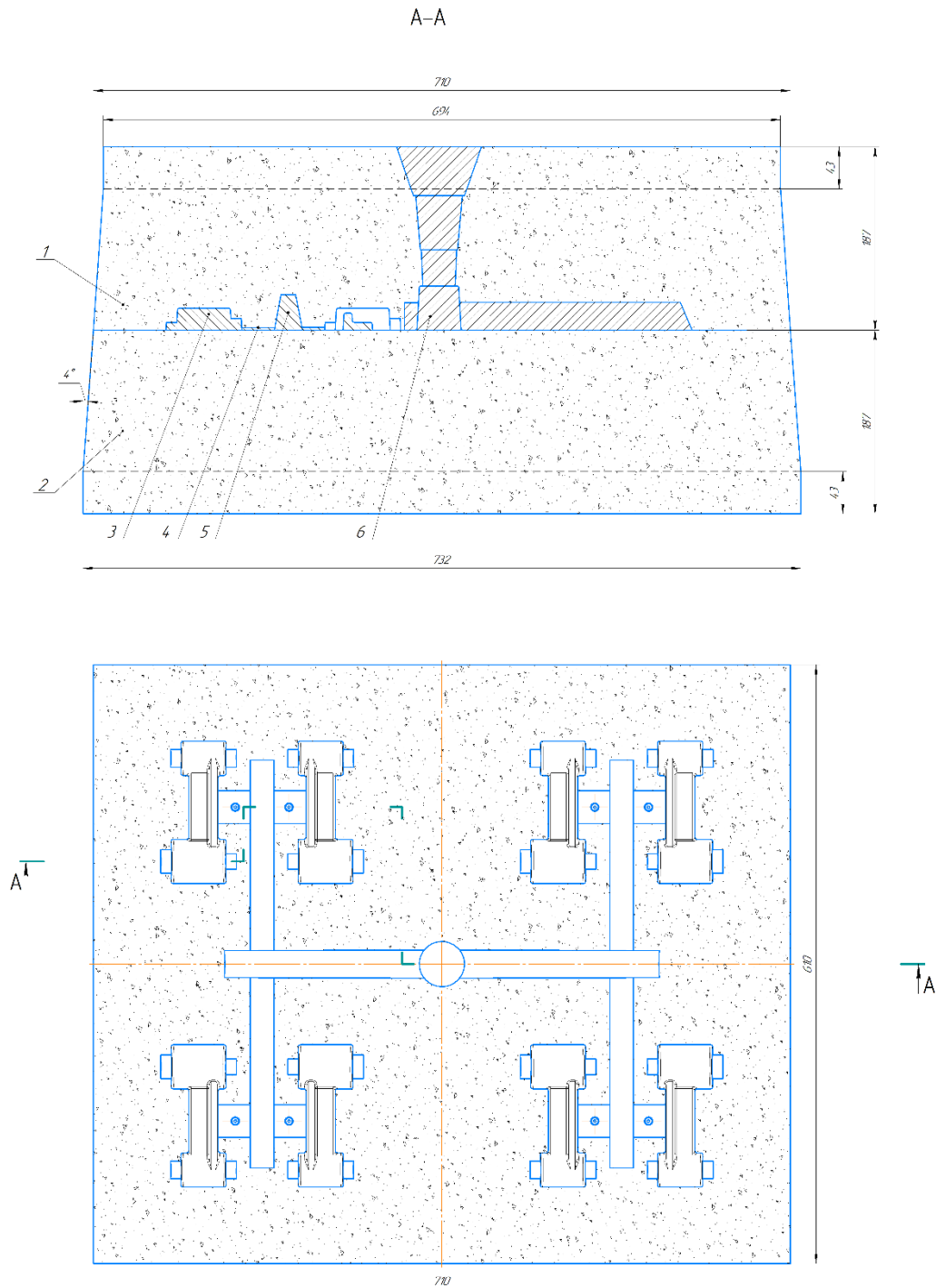


Рисунок 3.1 – Ливарна форма для виготовлення відливків «Важіль»

Запроектована ливарна форма забезпечує надійне розташування всіх елементів технологічного оснащення, рівномірне заповнення робочих порожнин металом та створює необхідні умови для отримання якісних відливків «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10 відповідно до встановлених технічних вимог.

Розташування відливків у ливарній формі обране таким чином, щоб забезпечити рівномірне надходження розплавленого металу до кожної робочої

порожнини та створити оптимальні умови для його подальшого охолодження і кристалізації. Завдяки симетричному компоунуванню відливоків відносно елементів ливниково-живильної системи досягається стабільний розподіл металевого потоку, що позитивно впливає на точність геометричних розмірів і зменшує ризик виникнення внутрішніх дефектів.

Заповнення робочих порожнин форми здійснюється через ливниково-живильну систему, до складу якої входять ливникова чаша, вертикальний стояк, шлаковловлювач і система підвідних каналів. Використання нижнього способу підведення металу дозволяє знизити турбулентність потоку, обмежити окиснення розплаву та забезпечити більш спокійне заповнення форми. Це сприяє покращенню якості металу у відливках і зменшує ймовірність утворення газової пористості, шлакових включень та інших ливарних дефектів.

Конструктивні особливості відливка «Важіль» дають змогу виготовляти його без використання стрижневого оснащення. Відсутність внутрішніх порожнин складної конфігурації дозволяє формувати всі поверхні виробу безпосередньо у верхній та нижній напівформах. Таке рішення суттєво спрощує процес виготовлення форми, скорочує кількість технологічних операцій і підвищує надійність виробничого процесу.

Для забезпечення ефективного відведення повітря та газів, що утворюються під час контакту розплавленого металу з формувальною сумішшю, у верхній частині форми передбачені вентиляційні канали та випори. Їх наявність сприяє кращому заповненню порожнин форми та підвищує щільність металу в готових відливках.

Розроблена конструкція ливарної форми забезпечує правильне розташування всіх елементів технологічного оснащення, зручність складання й розбирання опок, стабільність процесу лиття та отримання якісних відливоків «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10 відповідно до вимог робочого креслення та технологічної документації.

### 3.2 Складання форми та підготовка до заливання

Після завершення виготовлення верхньої та нижньої напівформ виконують операцію складання ливарної форми. Якість виконання цієї технологічної операції безпосередньо впливає на точність геометричних параметрів відливків, якість їх поверхні та відсутність дефектів, пов'язаних зі зміщенням елементів форми під час заливання металу.

Перед складанням форми виконують очищення площини роз'єму від залишків формувальної суміші, перевіряють стан робочих поверхонь напівформ та контролюють правильність оформлення відбитків моделі. Одночасно здійснюють огляд елементів ливниково-живильної системи, вентиляційних каналів і випорів, які повинні бути вільними від засмічень та механічних пошкоджень.

Особливу увагу приділяють перевірці геометрії робочих порожнин відливків. Усі контури повинні чітко відповідати конфігурації модельного комплекту, а поверхня форми не повинна мати обсипань, тріщин або місцевих пошкоджень, які можуть негативно вплинути на якість готової продукції.

Після завершення підготовчих операцій верхню напівформу встановлюють на нижню та виконують їх суміщення за допомогою напрямних штифтів. Використання штифтів забезпечує точне взаємне розташування напівформ і запобігає їх зміщенню під час транспортування та заливання металу.

У результаті складання утворюється замкнена система робочих порожнин, яка включає вісім відливків «Важіль» та елементи ливниково-живильної системи. Після суміщення напівформ додатково контролюють правильність положення стояка, шлаковловлювача, живильних каналів і випорів.

Заключним етапом є перевірка готовності форми до заливання. Контролюють щільність прилягання напівформ по площині роз'єму, стан вентиляційних каналів та прохідність усіх елементів ливниково-живильної системи. За результатами контролю форма допускається до виконання наступної технологічної операції — заливання розплавленого високоміцного чавуну ВЧ450-10.

Прийнята послідовність складання забезпечує правильне взаємне розташування всіх елементів форми, стабільність технологічного процесу та створює необхідні умови для отримання якісних відливок без перекосів, зміщень і порушення геометричних розмірів.

### **3.3 Заливання, охолодження та вибивання відливок**

Якість відливок значною мірою залежить від правильності виконання технологічних операцій заливання, охолодження та вибивання. Саме на цих етапах відбувається формування структури металу, закладаються механічні властивості майбутньої деталі та забезпечується отримання відливок без внутрішніх і поверхневих дефектів.

Для виготовлення відливок «Важіль» використовуються піщано-глинисті форми, виготовлені методом машинного формування. Формувальна суміш повинна забезпечувати достатню міцність форми, високу газопроникність та стійкість до дії високих температур розплавленого металу.

Після завершення складання та контролю готовності форми вона надходить на заливальну дільницю. Заповнення робочих порожнин здійснюється високоміцним чавуном марки ВЧ450-10. Температуру заливання приймають у межах 1380–1420 °С, що забезпечує необхідну рідкотекучість металу та надійне заповнення всіх елементів форми.

Перед початком заливання з поверхні розплаву видаляють шлак та продукти окиснення. Метал подають у ливникову чашу безперервним потоком, підтримуючи її заповненою протягом усього процесу заливання. Такий режим забезпечує стабільний рух металу в ливниково-живильній системі та зменшує ймовірність захоплення повітря.

Завдяки застосуванню нижнього підведення металу заповнення форми відбувається плавно, без значного турбулентного перемішування потоків. Це сприяє затриманню неметалевих включень у шлаковловлювачі та забезпечує отримання щільної структури металу в усіх відливках.

Для визначення орієнтовного часу охолодження відливоків використовують залежність:

$$t_{ox} = S_1 \cdot \delta \cdot \sqrt{G}, \quad (3.1)$$

де,  $t_{ox}$  – тривалість охолодження відливка, с;  $S_1$  – коефіцієнт, що враховує умови охолодження,  $S_1 = 0,9$ ;  $\delta$  – середня товщина стінки відливка, мм;  $G$  – маса одного відливка разом із частиною ливникової системи, кг.

Для відливка «Важіль»:

$$\delta = 12 \text{ мм};$$

$$G = 0,8 \text{ кг}.$$

Тоді:

$$t_{ox} = 0,9 \cdot 12 \cdot \sqrt{0,8}$$

$$t_{ox} = 9,66 \text{ с}$$

Отже,  $t_{ox} \approx 10 \text{ с}$

Для оцінювання інтенсивності заповнення форми визначають середню швидкість підйому рівня металу в робочій порожнині:

$$V = C / t_3, \quad (3.2)$$

де,  $C$  – характерна висота відливка, мм;  $t_3$  – час заливання, с.

Для даного відливка:

$$C = 35 \text{ мм};$$

$$t_3 = 4 \text{ с}.$$

$$\text{Тоді: } V = 35 / 4 = 8,75 \text{ мм/с}$$

Отримане значення відповідає рекомендованим режимам лиття чавунних відливоків і забезпечує стабільне заповнення порожнин форми без виникнення недоливів та надмірної турбулентності потоку.

Після завершення процесу кристалізації форми подають на вибивну дільницю. Під час вибивання відбувається руйнування формувальної суміші та вилучення відливоків разом із елементами ливниково-живильної системи. Далі виконують очищення поверхонь від залишків формувальної суміші та відокремлення елементів ливникової системи.

Наступною операцією є очищення відливоків механічним способом. У процесі очищення видаляються залишки формувальної суміші, заливи та

нерівності, що утворилися під час лиття. Після цього відливки направляються на контроль якості та подальшу механічну обробку.

Таким чином, дотримання встановлених режимів заливання, охолодження та вибивання забезпечує отримання якісних відливок «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10, які відповідають вимогам конструкторської документації та придатні для подальшого використання у машинобудівному виробництві.

### **3.4 Контроль якості відливок та можливі дефекти**

Контроль якості є обов'язковим елементом технологічного процесу виготовлення відливок і спрямований на забезпечення відповідності готової продукції вимогам креслення та нормативної документації. Основною метою контролю є своєчасне виявлення відхилень технологічного процесу та попередження появи дефектів, які можуть негативно впливати на експлуатаційні характеристики деталі.

Під час виготовлення відливок «Важіль» контроль виконують на всіх стадіях виробництва. Перевіряють властивості формувальної суміші, правильність виготовлення та складання форми, стан ливниково-живильної системи, температуру металу перед заливанням, а також дотримання встановлених режимів охолодження і вибивання.

Після завершення технологічного циклу здійснюють приймальний контроль готових відливок. При цьому перевіряють геометричні розміри виробів, якість поверхні, відсутність видимих дефектів та відповідність форми відливка вимогам конструкторської документації. Контроль розмірів виконують за допомогою штангенциркулів, шаблонів та інших вимірювальних інструментів.

Оцінювання якості поверхні проводять шляхом зовнішнього огляду після очищення відливок від залишків формувальної суміші. На поверхні не допускаються тріщини, недоливи, значні раковини, шлакові включення, перекося та інші дефекти, що можуть знижувати міцність виробу або ускладнювати його подальшу механічну обробку.

Для підтвердження відповідності матеріалу вимогам марки ВЧ450-10 можуть виконуватися випробування контрольних зразків на твердість та механічні властивості. Отримані результати повинні відповідати вимогам чинних стандартів для високоміцного чавуну з кулястим графітом.

У процесі виробництва відливок можуть виникати різні види ливарних дефектів. Основні дефекти, причини їх утворення та заходи щодо попередження наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні дефекти відливок та способи їх попередження

Дефект	Причини виникнення	Заходи попередження
Газові раковини	Підвищена вологість суміші, недостатня вентиляція форми	Контроль вологості суміші та покращення вентиляції
Усадочна пористість	Нерівномірне тверднення металу	Раціональне проєктування ливниково-живильної системи
Шлакові вclusions	Потрапляння шлаку до робочої порожнини	Очищення розплаву та використання шлаковловлювача
Недолив	Недостатня температура металу або мала швидкість заливання	Контроль температури та режиму заливання
Пригар	Надмірна температура металу або недостатня вогнетривкість форми	Використання якісних формувальних матеріалів
Перекіс відливка	Неточне складання напівформ	Контроль взаємного положення опок
Тріщини	Високі внутрішні напруження під час охолодження	Дотримання раціонального режиму охолодження

Для наочності на рис. 3.4 наведено найбільш поширені дефекти, які можуть виникати під час виготовлення чавунних відливок.

а) Газова раковина	б) Усадочна пористість	в) Шлакове включення	г) Недолив
			
 <p data-bbox="220 663 499 824">Утворюються при виділенні газів з форми або розплаву. Мають округлу форму, розташовуються поблизу поверхні.</p>	 <p data-bbox="539 663 818 824">Виникає в місцях локального скупчення металу при його кристалізації. Причина – недостатнє живлення металу під час тверднення.</p>	 <p data-bbox="858 663 1137 824">З'являється внаслідок потрапляння шлаку, неметалевих частинок або продуктів окиснення у порожнину форми.</p>	 <p data-bbox="1177 663 1457 824">Виникає при недостатній температурі заливання або повільному заповненні форми. Призводить до неповного формування відливка.</p>

Рисунок 3.4 – Характерні дефекти чавунних відливків: а – газова раковина; б – усадочна пористість; в – шлакове включення; г – недолив.

Газові раковини виникають унаслідок недостатньої газопроникності форми або підвищеної вологості формувальної суміші. Найчастіше вони мають округлу форму та розташовуються поблизу поверхні відливка.

Усадочна пористість утворюється в місцях локального скупчення металу під час його кристалізації. Причиною появи такого дефекту є недостатнє живлення металу в процесі тверднення або нераціональна конструкція ливниково-живильної системи.

Шлакові включення з'являються внаслідок потрапляння до порожнини форми неметалевих частинок, продуктів окиснення або залишків шлаку. Такі дефекти погіршують механічні властивості металу та можуть стати осередками руйнування деталі під час експлуатації.

Недолив виникає при недостатній температурі заливання або надмірно повільному заповненні форми. У результаті окремі ділянки відливка формуються не повністю, що призводить до порушення його геометрії та неможливості подальшого використання.

Для відливоків «Важіль» найбільш небезпечними є усадочна пористість та шлакові включення, оскільки вони можуть знижувати міцність перемички між бобишками та погіршувати експлуатаційну надійність деталі. Саме тому під час виготовлення особливу увагу приділяють дотриманню режимів плавлення, заливання та охолодження металу, а також правильності роботи ливниково-живильної системи.

Для відливка «Важіль» особливу увагу приділяють контролю бобишок під подальше свердління та механічну обробку, а також якості поверхонь перемички, яка сприймає основні навантаження під час роботи деталі. Наявність дефектів у цих зонах може призвести до зниження міцності виробу та скорочення терміну його експлуатації.

Таким чином, систематичний контроль якості на всіх стадіях виробництва дозволяє своєчасно виявляти можливі порушення технологічного процесу, зменшувати кількість браку та забезпечувати отримання якісних відливоків «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10, які відповідають встановленим технічним вимогам.

### **Висновки до розділу 3**

У третьому розділі кваліфікаційної роботи розроблено конструкцію ливарної форми для виготовлення відливка «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10 та обґрунтовано основні технологічні операції процесу лиття.

На підставі аналізу конструкції відливка та прийнятого способу формування спроектовано двоопочну піщано-глинисту форму з горизонтальною площиною роз'єму. Прийнята конструкція забезпечує простоту виготовлення формувального оснащення, зручність складання форми та стабільність технологічного процесу під час заливання металу.

Розглянуто послідовність складання ливарної форми, виконано обґрунтування розташування елементів ливниково-живильної системи та визначено умови підготовки форми до заливання. Встановлено, що конструкція

відливка не потребує використання стрижневого оснащення, що сприяє спрощенню технології виготовлення та зменшенню виробничих витрат.

Проаналізовано особливості процесів заливання, охолодження та вибивання відливоків. Обраний режим заливання забезпечує рівномірне заповнення порожнин форми, а прийняті параметри охолодження створюють сприятливі умови для формування структури високоміцного чавуну та отримання необхідних механічних властивостей готового виробу.

Проведено аналіз методів контролю якості відливоків та розглянуто основні дефекти, які можуть виникати під час лиття. Визначено причини їх появи та запропоновано технологічні заходи щодо їх попередження. Особливу увагу приділено забезпеченню якості робочих поверхонь важеля та запобіганню виникненню усадочних і газових дефектів.

Таким чином, розроблена конструкція ливарної форми та прийняті технологічні рішення забезпечують отримання якісних відливоків «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10, які відповідають вимогам конструкторської документації та придатні для подальшої механічної обробки й експлуатації у складі машинобудівного обладнання.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розроблено технологію виготовлення відливка «Важіль» із високоміцного чавуну ВЧ450-10 та обґрунтовано основні параметри ливарного процесу.

Проведено аналіз конструкції деталі, умов її експлуатації та технологічності. Встановлено, що конструкція важеля є придатною для виготовлення методом лиття у піщано-глинисті форми та забезпечує раціональне поєднання міцності, жорсткості й технологічності.

Обґрунтовано вибір матеріалу ВЧ450-10, який завдяки високим механічним властивостям і добрим ливарним характеристикам забезпечує надійну роботу деталі в умовах експлуатації.

Розроблено технологічний процес виготовлення відливка, вибрано положення у формі, площину роз'єму, призначено припуски на механічну обробку та розраховано ливниково-живильну систему. Запроєктована ливарна форма забезпечує рівномірне заповнення порожнин металом і отримання якісних відливків.

Розглянуто технологічні операції заливання, охолодження та вибивання відливків, а також методи контролю якості готової продукції. Визначено основні можливі дефекти та запропоновано заходи щодо їх попередження.

Отже, поставлену мету роботи досягнуто. Розроблена технологія забезпечує отримання якісних відливків «Важіль», які відповідають вимогам конструкторської документації та можуть бути рекомендовані для впровадження у виробництво.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Назаренко І. І., Шинський О. Й. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів. – Київ : Видавничий дім «Кондор», 2020. – 356 с.
2. Шинський О. Й. Теорія та технологія ливарного виробництва. – Київ : НТУУ «КПІ», 2018. – 412 с.
3. Дорошенко В. С. Основи ливарного виробництва. – Київ : ІЗМН, 2017. – 328 с.
4. Волощенко М. В. Технологія ливарної форми. – Харків : НТУ «ХП», 2019. – 284 с.
5. Калюжний П. Б. Формувальні матеріали та суміші у ливарному виробництві. – Київ : Логос, 2018. – 216 с.
6. Гаврилюк В. П. Високоміцні чавуни та їх застосування у машинобудуванні. – Дніпро : Пороги, 2020. – 245 с.
7. Кузьмін О. В., Кропивний В. М. Ливарні сплави та технології їх отримання. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 198 с.
8. Campbell J. Complete Casting Handbook. 2nd ed. – Oxford : Elsevier, 2015. – 784 p.
9. Beeley P. Foundry Technology. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2018. – 512 p.
10. Stefanescu D. M. Science and Engineering of Casting Solidification. – New York : Springer, 2015. – 558 p.
11. Stefanescu D. M. Cast Iron Science and Technology. – Ohio : ASM International, 2018. – 430 p.
12. Brown J. R. Foseco Ferrous Foundryman's Handbook. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2019. – 384 p.

# ДОДАТКИ