

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 технологічного процесу виготовлення
фланцевої корпусної кришки з високоміцного
чавуну»**

«Development of the technological process for manufacturing a
flanged housing cover from high-strength cast iron»

Виконав здобувач вищої освіти:

IV курсу, групи ПМ-23мб-1
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Тримбовецький А.А.

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**

Тримбовецький Андрій Анатолійович

1. Тема роботи: "Розробка технологічного процесу виготовлення фланцевої корпусної кришки з високоміцного чавуну"
2. Керівник роботи Кузик Олександр Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри матеріалознавства та ливарного виробництва. Затверджена наказом вищого навчального закладу від "13" березня 2026 року № 167-02.
3. Строк подання роботи до захисту "15" червня 2026 року.
4. Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка технологічного процесу виготовлення відливка фланцевої корпусної кришки з високоміцного чавуну ВЧ450-10, вибір раціональної конструкції ливарної форми та проектування ливниково-живильної системи, що забезпечують отримання якісного відливка відповідно до технічних вимог.
Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:
 - проаналізувати конструкцію деталі та вимоги до відливка;
 - дослідити технологічні властивості високоміцного чавуну ВЧ450-10;
 - обґрунтувати спосіб виготовлення відливка;
 - визначити положення відливка у формі та площину роз'єму;
 - вибрати припуски на механічну обробку, формувальні ухили та конструкцію стержнів;
 - виконати розрахунок і проектування ливниково-живильної системи;
 - розробити технологічний процес виготовлення відливка;
 - спроектувати ливарну форму в зборі;
 - розглянути методи контролю якості відливків та можливі ливарні дефекти.
5. Перелік графічного матеріалу:
 - креслення деталі з нанесенням модельноливарних вказівок;
 - креслення ливарної форми в зборі.

5. 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

_____ Андрій Тримбовецький

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти розглянуто питання розроблення технології виготовлення відливка фланцевої корпусної кришки з високоміцного чавуну ВЧ450-10 для умов серійного виробництва. Актуальність роботи обумовлена необхідністю забезпечення високої якості литих заготовок, зниження рівня браку та підвищення ефективності ливарного виробництва.

У роботі виконано аналіз конструкції деталі, визначено її технологічні особливості та вимоги до експлуатаційних властивостей. Проведено аналіз матеріалу відливка – високоміцного чавуну ВЧ450-10, наведено його хімічний склад, структуру, механічні та ливарні властивості. Встановлено доцільність застосування даного матеріалу для виготовлення відповідальних корпусних деталей машинобудівного призначення.

На основі проведеного аналізу розроблено технологію виготовлення відливка. Обґрунтовано вибір способу лиття та автоматичної формувальної лінії Savelli. Визначено положення відливка у формі, площину роз'єму, припуски на механічну обробку, формувальні ухили та конструкцію стержневого оснащення. Для забезпечення якісного заповнення форми металом виконано розрахунок ливниково-живильної системи та визначено основні параметри її елементів.

У роботі розроблено конструкцію ливарної форми, розглянуто особливості її складання та встановлення стержнів. Детально описано технологічні операції заливки, охолодження та вибивки відливоків, наведено вимоги до температурних режимів і послідовності виконання основних виробничих операцій.

Окрему увагу приділено питанням контролю якості готових відливоків. Розглянуто методи контролю геометричних розмірів, структури та якості поверхні. Проведено аналіз найбільш поширених ливарних дефектів, визначено причини їх виникнення та запропоновано заходи щодо їх попередження.

У результаті виконання роботи розроблено технологію виготовлення відливка фланцевої корпусної кришки з високоміцного чавуну ВЧ450-10, яка

забезпечує отримання якісної продукції відповідно до вимог конструкторської документації та умов серійного виробництва.

Ключові слова: ливарне виробництво, відливок, фланцева корпусна кришка, високоміцний чавун VЧ450-10, ливарна форма, стержень, ливниково-живильна система, автоматична формувальна лінія, контроль якості, ливарні дефекти.

ABSTRACT

The bachelor's thesis is devoted to the development of a manufacturing technology for a flange housing cover casting made of ductile iron VCh450-10 under serial production conditions. The relevance of the study is determined by the need to ensure high quality castings, reduce production defects and improve the efficiency of foundry processes.

The thesis includes an analysis of the casting design and the material properties of ductile iron VCh450-10. The chemical composition, microstructure, mechanical properties and casting characteristics of the selected material are considered. The suitability of ductile iron VCh450-10 for manufacturing responsible machine-building components is substantiated.

A casting technology has been developed based on the analysis performed. The casting method, mould orientation, parting plane, machining allowances, draft angles and core design were selected and justified. The gating and feeding system was designed and its main parameters were calculated to ensure proper mould filling and casting quality.

Special attention is paid to the design of the mould and the technological operations of mould assembly, core setting, pouring, cooling and shakeout. The technological features of casting production on the Savelli automatic moulding line are described. The optimal process parameters ensuring stable production conditions and high casting quality are determined.

The thesis also considers methods of casting quality control and analyzes the most common casting defects. The causes of defect formation and measures for their

prevention are identified. The proposed technological solutions make it possible to obtain castings that meet the requirements of design documentation and serial production standards.

As a result of the work, a technology for manufacturing a flange housing cover casting from ductile iron VCh450-10 has been developed, providing the required dimensional accuracy, mechanical properties and operational reliability of the product.

Keywords: casting, flange housing cover, ductile iron VCh450-10, mould, core, gating and feeding system, moulding process, pouring, quality control, casting defects.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	8
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.....	14
Висновки до розділу 1.....	16
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДЛИВКА.....	17
2.1 Аналіз конструкції відливка та технічних вимог.....	17
2.2 Вибір способу виготовлення відливка.....	20
2.3 Вибір положення відливка у формі та площини роз'єму.....	22
2.4 Вибір припусків, формувальних ухилів і стержнів.....	24
2.5 Розрахунок ливниково-живильної системи.....	25
Висновки до розділу 2.....	29
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ЛИВАРНОЇ ФОРМИ.....	30
3.1 Конструкція ливарної форми.....	30
3.2 Складання форми та встановлення стержнів.....	32
3.3 Заливка, охолодження та вибивка відливків.....	33
3.4 Контроль якості відливків та можливі дефекти.....	37
Висновки до розділу 3.....	38
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	41
Список використаних джерел.....	42
Додатки.....	43

ВСТУП

Ливарне виробництво є однією з базових галузей машинобудування, що забезпечує виготовлення заготовок складної конфігурації з необхідними експлуатаційними властивостями. Використання сучасних технологій лиття дозволяє отримувати відливки з високою точністю розмірів, мінімальними припусками на механічну обробку та раціональним використанням металу.

Особливе місце серед ливарних сплавів займає високоміцний чавун з кулястим графітом, який поєднує високі механічні властивості, достатню пластичність, зносостійкість та добрі ливарні характеристики. Завдяки цьому високоміцні чавуни широко застосовуються для виготовлення корпусних деталей машин, насосного обладнання, редукторів, компресорів та інших відповідальних виробів.

Однією з таких деталей є фланцева корпусна кришка, яка використовується як елемент корпусного вузла та забезпечує розміщення і фіксацію окремих деталей механізму. Надійність роботи виробу значною мірою залежить від якості відливка, правильності вибору технології його виготовлення та конструкції ливарної форми.

У зв'язку з цим актуальним є розроблення технологічного процесу виготовлення відливка фланцевої корпусної кришки з високоміцного чавуну, що забезпечує отримання якісної виливки при мінімальних виробничих витратах.

Метою роботи є розробка технологічного процесу виготовлення відливка фланцевої корпусної кришки з високоміцного чавуну ВЧ450-10, вибір раціональної конструкції ливарної форми та проектування ливниково-живильної системи, що забезпечують отримання якісного відливка відповідно до технічних вимог.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати конструкцію деталі та вимоги до відливка;
- дослідити технологічні властивості високоміцного чавуну ВЧ450-10;
- обґрунтувати спосіб виготовлення відливка;
- визначити положення відливка у формі та площину роз'єму;

- вибрати припуски на механічну обробку, формувальні ухили та конструкцію стержнів;
- виконати розрахунок і проєктування ливниково-живильної системи;
- розробити технологічний процес виготовлення відливка;
- спроектувати ливарну форму в зборі;
- розглянути методи контролю якості відливоків та можливі ливарні дефекти.

Об'єктом дослідження є процес виготовлення відливка фланцевої корпусної кришки з високоміцного чавуну.

Предметом дослідження є технологічні параметри виготовлення відливка, конструкція ливниково-живильної системи та ливарної форми, які впливають на якість готового виробу.

Практична цінність роботи полягає у розробленні технологічного процесу виготовлення відливка фланцевої корпусної кришки з високоміцного чавуну ВЧ450-10, який може бути використаний при проєктуванні та вдосконаленні технології виробництва аналогічних корпусних деталей у ливарних цехах машинобудівних підприємств.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ ТА ВИМОГ ДО ВІДЛИВКА

1.1 Призначення та умови експлуатації деталі

Корпусні кришки є важливими елементами машинобудівних конструкцій і широко застосовуються в різноманітному технологічному обладнанні, зокрема насосах, компресорах, редукторах, приводних механізмах та інших агрегатах. Основним функціональним призначенням таких деталей є закриття внутрішніх порожнин корпусів, забезпечення герметичності вузлів, захист робочих елементів від впливу навколишнього середовища, а також фіксація та взаємне позиціонування окремих складових механізму. Загальний вигляд фланцевої корпусної кришки наведено на рис. 1.1.

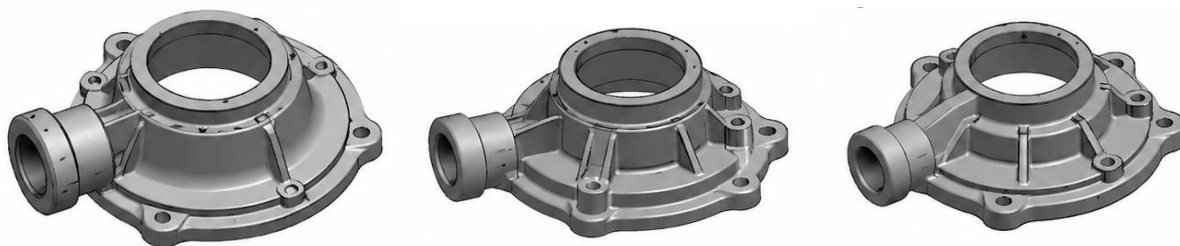


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд фланцевої корпусної кришки

У процесі експлуатації корпусна кришка є відповідальним елементом конструкції, від якого значною мірою залежить надійність, довговічність та безпечність роботи вузла. Деталь працює в умовах дії статичних і змінних навантажень, що виникають унаслідок роботи обладнання, а також піддається впливу вібрацій, температурних коливань і внутрішнього тиску робочого середовища. У зв'язку з цим до корпусних кришок висуваються підвищені вимоги щодо механічної міцності, жорсткості, зносостійкості та стабільності геометричних параметрів протягом усього терміну експлуатації.

Особливого значення набуває забезпечення надійності з'єднання кришки з корпусом агрегату, оскільки порушення герметичності або виникнення деформацій можуть призвести до погіршення експлуатаційних характеристик обладнання, збільшення втрат робочого середовища та зниження загальної

ефективності його роботи. Тому при проектуванні та виготовленні корпусних деталей необхідно забезпечувати високу якість металу, точність розмірів і відсутність внутрішніх та поверхневих дефектів.

Експлуатаційні умови роботи корпусних кришок визначають необхідність використання конструкційних матеріалів, які поєднують високі показники міцності з достатньою пластичністю, технологічністю та добрими ливарними властивостями. Одним із таких матеріалів є високоміцний чавун з кулястим графітом, який забезпечує отримання складних фасонних відливок із високими механічними характеристиками та тривалим ресурсом роботи.

З огляду на відповідальність функцій, які виконує корпусна кришка в складі механізму, важливим завданням є розроблення раціонального технологічного процесу виготовлення відливка, що забезпечує отримання якісної продукції з мінімальною ймовірністю виникнення ливарних дефектів та стабільними експлуатаційними властивостями.

1.2 Аналіз конструкції деталі

Від конструкції корпусної кришки залежать жорсткість вузла, точність взаємного розташування деталей та надійність роботи механізму в цілому. Конструкція таких деталей зазвичай характеризується наявністю фланцевих поверхонь, посадкових отворів, внутрішніх порожнин, ребер жорсткості та елементів кріплення. Залежно від призначення виробу форма корпусної кришки може бути різною, проте основними вимогами до неї залишаються достатня міцність, жорсткість, технологічність виготовлення та можливість забезпечення необхідної точності після механічної обробки.

На рис. 1.2 наведено типові конструктивні виконання фланцевих корпусних кришок, які використовуються в машинобудуванні. Аналіз конструкції досліджуваної деталі дозволяє оцінити її технологічність, визначити особливості формоутворення відливка та обґрунтувати вибір подальших технологічних рішень при розробленні процесу лиття.

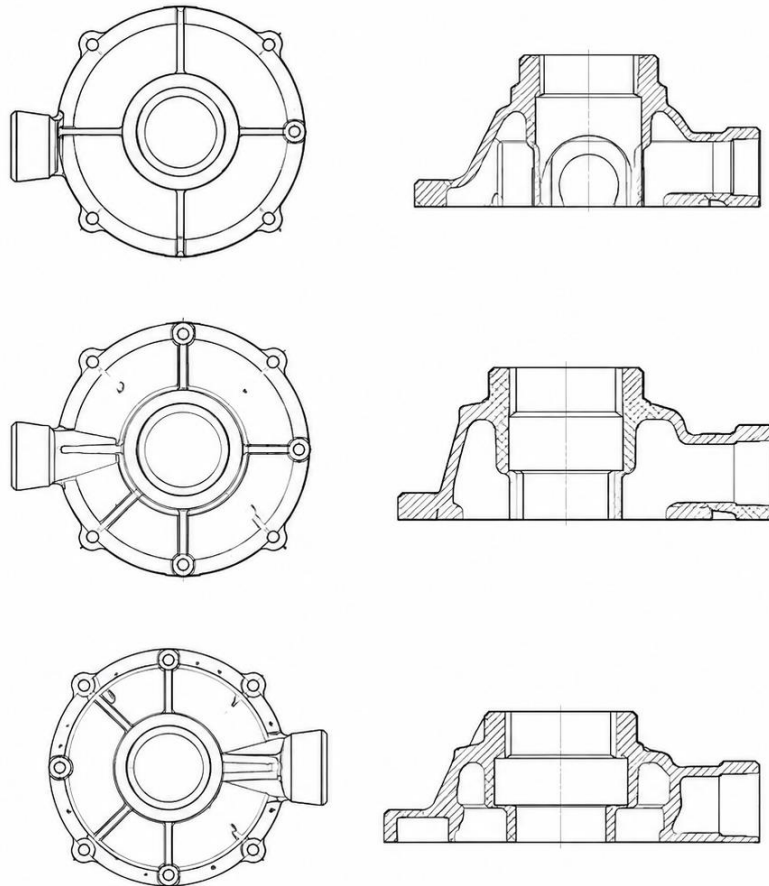


Рисунок 1.2 – Типові конструктивні виконання фланцевих корпусних кришок

Деталь належить до класу корпусних деталей середньої складності та призначена для роботи в складі машинобудівного обладнання. Характерною особливістю виробу є поєднання зовнішніх і внутрішніх поверхонь складної конфігурації, наявність розвиненої фланцевої частини та внутрішніх порожнин, що формуються під час лиття за допомогою стержнів.

З конструктивної точки зору деталь являє собою тонкостінний фасонний вилівок із розвиненою фланцевою поверхнею, яка забезпечує кріплення кришки до корпусу виробу. Для забезпечення необхідної жорсткості конструкції передбачено плавні переходи між окремими елементами деталі, що сприяє більш рівномірному розподілу напружень як під час експлуатації, так і в процесі охолодження відливка після заливки форми.

Аналіз креслення показує, що деталь містить внутрішні порожнини, виступаючі елементи та локальні потовщення стінок. Наявність таких конструктивних елементів потребує застосування стержнів для формування внутрішніх поверхонь відливка. Разом з тим конфігурація деталі не містить

замкнених порожнин або важкодоступних ділянок, які могли б суттєво ускладнити процес виготовлення ливарної форми.

Важливою особливістю конструкції є наявність центральної посадкової зони, до якої висуваються підвищені вимоги щодо точності геометричних розмірів та якості поверхні. Дані поверхні в подальшому підлягають механічній обробці, тому при проектуванні відливка необхідно передбачити відповідні припуски на оброблення.

Фланцева частина деталі містить систему кріпильних отворів, що забезпечують монтаж кришки на корпус виробу. Симетричне розташування основних конструктивних елементів позитивно впливає на умови заповнення форми рідким металом та сприяє більш рівномірному перебігу процесів кристалізації й охолодження відливка.

З точки зору ливарної технології конструкцію деталі можна вважати достатньо технологічною. Більшість поверхонь мають вільний вихід із форми, що дозволяє застосовувати просту площину роз'єму та уникнути використання складних рухомих елементів оснащення. Плавні спряження між поверхнями сприяють зниженню концентрації напружень і зменшують імовірність виникнення гарячих тріщин під час тверднення металу.

Габаритні розміри деталі та характер розподілу товщин стінок дозволяють виготовляти відливок у піщано-глинистих формах із використанням машинного формування. При цьому забезпечується необхідна якість поверхні, точність геометричних параметрів та економічна доцільність виробництва.

Таким чином, проведений аналіз конструкції показав, що фланцева корпусна кришка є технологічною для виготовлення методом лиття в піщані форми. Конструкція деталі дозволяє застосувати просту схему формування, забезпечити надійне встановлення стержнів і створити ефективну ливниково-живильну систему, що є важливою передумовою отримання якісного відливка.

1.3 Аналіз матеріалу ВЧ450-10 та оцінка технологічності конструкції

Матеріал деталі є одним із визначальних факторів, що впливають на експлуатаційні характеристики виробу, технологічність його виготовлення та економічну ефективність виробництва. Для виготовлення фланцевої корпусної кришки обрано високоміцний чавун марки ВЧ450-10, який завдяки поєднанню високих механічних властивостей та добрих ливарних характеристик широко застосовується для виробництва відповідальних корпусних відливків.

Високоміцний чавун ВЧ450-10 належить до групи чавунів із кулястою формою графіту. На відміну від сірих чавунів, у яких графіт має пластинчасту форму та створює значну концентрацію напружень у металевій основі, у високоміцному чавуні графітові включення мають переважно кулясту форму. Така структура забезпечує суттєве підвищення міцності, пластичності та втомної довговічності матеріалу. 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	Mg
Вміст, %	3,4–3,8	2,2–2,9	0,3–0,7	≤0,08	≤0,02	0,03–0,07

Вуглець є основним графітоутворюючим елементом і визначає ливарні властивості сплаву. Підвищений вміст вуглецю сприяє покращенню рідкотекучості металу та зменшенню усадочних явищ під час кристалізації. Кремній також належить до графітізуючих елементів і забезпечує формування необхідної структури чавуну. Марганець підвищує міцність металевої основи, проте його вміст обмежують через можливість утворення надлишкової кількості карбідних фаз.

Вміст фосфору та сірки підтримують на мінімальному рівні, оскільки ці елементи негативно впливають на пластичність і тріщиностійкість матеріалу. Магній є основним модифікатором, який забезпечує формування графіту кулястої форми та отримання комплексу високих механічних властивостей. Основні механічні властивості чавуну ВЧ450-10 наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Механічні властивості високоміцного чавуну ВЧ450-10

Показник	Значення
Тимчасовий опір розриву σ_b , МПа	не менше 450
Межа текучості $\sigma_{0,2}$, МПа	не менше 310
Відносне подовження δ , %	не менше 10
Твердість НВ	170–230
Густина, кг/м ³	7100–7300

Як видно з табл. 1.2, високоміцний чавун ВЧ450-10 характеризується достатньо високими показниками міцності при збереженні пластичності, що є важливою перевагою порівняно зі звичайними сірими чавунами. Відносне подовження не менше 10 % свідчить про здатність матеріалу сприймати локальні перевантаження без крихкого руйнування, що особливо важливо для корпусних деталей складної конфігурації.

Для корпусних відливок важливе значення мають не лише механічні, а й технологічні властивості матеріалу. Високоміцний чавун ВЧ450-10 характеризується доброю рідкотекучістю, що дозволяє отримувати тонкостінні фасонні відливки складної форми. Матеріал має достатню здатність до заповнення порожнини форми та відносно невисоку схильність до утворення гарячих тріщин. Це має особливе значення при виготовленні фланцевої корпусної кришки, конструкція якої містить внутрішні порожнини, місцеві потовщення та розвинені фланцеві елементи.

Важливою перевагою високоміцного чавуну є його висока демпфувальна здатність. Матеріал ефективно поглинає механічні коливання та вібрації, що сприяє підвищенню довговічності обладнання і зниженню рівня шуму під час експлуатації. Крім того, ВЧ450-10 добре піддається механічній обробці різанням, що забезпечує отримання необхідної точності посадкових та приєднувальних поверхонь.

Отже, аналіз хімічного складу, механічних і технологічних властивостей високоміцного чавуну ВЧ450-10 показав, що даний матеріал повністю відповідає умовам роботи фланцевої корпусної кришки. Поєднання високої міцності,

достатньої пластичності, добрих ливарних властивостей та економічної доцільності обумовлює його використання для виготовлення досліджуваного відливка.

Конструкція фланцевої корпусної кришки відповідає основним вимогам ливарної технологічності. Деталь характеризується відсутністю різких переходів між основними елементами, наявністю плавних спряжень поверхонь та можливістю формування внутрішніх порожнин за допомогою стержнів. Конфігурація відливка дозволяє застосувати просту площину роз'єму форми та забезпечити спрямовану кристалізацію металу. Це створює передумови для отримання якісного відливка з мінімальною кількістю дефектів та раціональними витратами на його виготовлення.

Висновки до розділу 1

У першому розділі бакалаврської роботи виконано аналіз конструкції фланцевої корпусної кришки, умов її експлуатації та обґрунтовано вибір матеріалу для виготовлення відливка.

Встановлено, що досліджувана деталь належить до класу корпусних деталей машинобудівного призначення та виконує функції закриття внутрішніх порожнин вузла, забезпечення герметичності з'єднання і необхідної жорсткості конструкції. У процесі експлуатації деталь сприймає статичні та динамічні навантаження, а також піддається впливу вібраційних навантажень, що висуває підвищені вимоги до її міцності та довговічності.

Проведений аналіз конструкції показав, що деталь характеризується достатньо складною просторовою конфігурацією та наявністю внутрішніх порожнин, які потребують використання стержнів під час виготовлення ливарної форми. Разом з тим конструкція є технологічною для отримання методом лиття та не містить елементів, які суттєво ускладнюють процес формування й виймання моделі з форми.

Для виготовлення деталі обрано високоміцний чавун марки ВЧ450-10. Аналіз хімічного складу та механічних властивостей даного матеріалу показав,

що він забезпечує необхідне поєднання міцності, пластичності, зносостійкості та добрих ливарних характеристик. Застосування високоміцного чавуну дозволяє отримати якісний відливок складної конфігурації з необхідними експлуатаційними властивостями.

Таким чином, результати проведеного аналізу підтверджують можливість виготовлення фланцевої корпусної кришки методом лиття в піщано-глинисті форми та свідчать про доцільність подальшого розроблення технологічного процесу виготовлення відливка, розрахунку ливниково-живильної системи та проєктування ливарної форми.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДЛИВКА

2.1 Аналіз конструкції відливка та технічних вимог

Відливков фланцевої корпусної кришки належить до відливків VIII класу точності згідно з вимогами ГОСТ 26645–85 та виготовляється з високоміцного чавуну марки ВЧ450-10 відповідно до ДСТУ 3925:99.

До відливка висуваються підвищені вимоги щодо якості поверхні та структури металу. На поверхні не допускається наявність залишків формувальної суміші, пригару, тріщин та інших дефектів, які можуть негативно впливати на експлуатаційні характеристики виробу. Задири та нарости повинні бути видалені в процесі очищення, а поверхня відливка повинна бути очищена до металевого блиску.

Структура металу повинна відповідати вимогам нормативної документації. Розмір включень кулястого графіту не повинен перевищувати 100 мкм. Наявність вільного цементиту не допускається. Металева основа повинна мати феритно-перлітну структуру із зернистою формою перліту, що забезпечує необхідний комплекс механічних властивостей і високу експлуатаційну надійність деталі.

На оброблених поверхнях допускається наявність окремих раковин глибиною не більше $2/3$ припуску на механічну обробку та діаметром до 1 мм у кількості не більше 10 штук за умови відстані між ними не менше 5 мм. На необроблених поверхнях допускаються раковини глибиною до 1,5 мм і діаметром до 3 мм у кількості не більше 10 штук при відстані між ними не менше 5 мм. Загальний вигляд відливка наведено на рис. 2.1.

Для формування внутрішніх порожнин передбачено використання стержнів. Конструкція відливка не містить складних піднутрень і не потребує застосування знімних частин модельного оснащення. Це дає можливість використовувати простий роз'єм моделі та форми, що спрощує процес виготовлення ливарної оснастки і складання форми.

Аналіз конструкції показав, що відливок відповідає основним вимогам ливарної технологічності. Конфігурація деталі забезпечує можливість її виготовлення в піщано-глинистих формах із використанням стержневого оснащення, а також створює сприятливі умови для подальшого проєктування технологічного процесу та розрахунку ливниково-живильної системи.

2.2 Вибір способу виготовлення відливка

Вибір способу виготовлення відливка здійснюється з урахуванням конструкції деталі, марки сплаву, вимог до точності, якості поверхні, серійності виробництва та економічної ефективності технологічного процесу.

Відливок фланцевої корпусної кришки виготовляється з високоміцного чавуну ВЧ450-10 та належить до відливоків середньої складності. Конструкція характеризується наявністю внутрішніх порожнин, розвинених фланцевих елементів та оброблюваних поверхонь, що потребують забезпечення достатньої точності розмірів і стабільності геометричної форми.

З урахуванням маси відливка, вимог до якості та умов серійного виробництва для його виготовлення доцільно застосувати лиття в піщано-глинисті форми, виготовлені методом машинного формування на автоматичній ливарній лінії Savelli. Даний спосіб забезпечує отримання відливоків VIII класу точності за ГОСТ 26645–85, високу продуктивність виробництва та стабільність технологічних параметрів.

Формування здійснюється в парних опоках розміром 640×460 мм. Висота верхньої та нижньої опок становить 150 мм. Для виготовлення форм використовуються односторонні модельні плити, що дозволяє забезпечити

необхідну точність оформлення порожнини форми та скоротити тривалість підготовчих операцій.

Ущільнення формувальної суміші виконується за технологією Formimpress®, яка забезпечує рівномірний розподіл щільності суміші по всьому об'єму форми, високу якість відбитку моделі та стабільність геометричних параметрів відливків. Перевагами даної технології є висока продуктивність, низькі енерговитрати, відсутність значних динамічних навантажень на обладнання та можливість отримання якісних форм при широкому діапазоні властивостей формувальної суміші.

Для формування внутрішніх порожнин відливка передбачається використання стержнів, які виготовляються в холодних ящиках із застосуванням швидкотвердіючих сумішей. Така технологія забезпечує високу точність стержнів, зменшує трудомісткість складання форм та сприяє підвищенню якості готових відливків.

Таким чином, для виготовлення відливка фланцевої корпусної кришки прийнято технологію лиття в піщано-глинисті форми на автоматичній формувальній лінії Savelli із застосуванням машинного формування та стержнів із холоднотвердіючих сумішей. Обраний спосіб забезпечує необхідну точність, якість поверхні та економічну ефективність виробництва.

Автоматичні формувальні лінії Savelli широко застосовуються у сучасному ливарному виробництві для виготовлення відливків із чавуну та сталі в умовах серійного і масового виробництва. Високий рівень автоматизації технологічних операцій забезпечує стабільність параметрів формування, підвищення продуктивності праці та покращення якості готових відливків.

Особливістю даної ливарної лінії є застосування технології ущільнення формувальної суміші Formimpress®, яка поєднує високу ефективність ущільнення із рівномірним розподілом щільності суміші по всьому об'єму форми. Завдяки цьому забезпечується висока точність відтворення контурів модельної оснастки, зменшується ймовірність руйнування форми під час транспортування та заливки металу, а також покращується якість поверхні відливків.

До основних переваг технології Formimpress® належать відсутність необхідності використання стисненого повітря, зниження енергоспоживання, висока надійність обладнання та можливість роботи при широкому діапазоні властивостей формувальної суміші. Крім того, технологія забезпечує якісне відокремлення моделі від форми та дозволяє зменшити витрати на технічне обслуговування обладнання.

Застосування автоматичної формувальної лінії дозволяє максимально механізувати операції виготовлення форм, їх складання, транспортування, заливки та вибивки. Це сприяє підвищенню продуктивності виробництва, покращенню умов праці та забезпеченню стабільної якості відливок.

Враховуючи конфігурацію відливка фланцевої корпусної кришки, його масу, вимоги до точності виготовлення та характер виробництва, використання автоматичної ливарної лінії Savelli є технічно обґрунтованим та економічно доцільним рішенням.

2.3 Вибір положення відливка у формі та площини роз'єму

Правильний вибір положення відливка у формі та площини роз'єму є одним із найважливіших етапів розроблення технологічного процесу лиття. Від прийнятого рішення залежать умови заповнення форми металом, якість відливка, можливість встановлення стержнів, зручність формування та складання форми, а також економічність виготовлення ливарного оснащення.

Для досліджуваного відливка фланцевої корпусної кришки прийнято горизонтальне положення у формі. Обране розташування відливка забезпечує найбільш сприятливі умови для формування відповідальних поверхонь та отримання якісної структури металу. Схема розташування відливка у формі наведена на рис. 2.2.

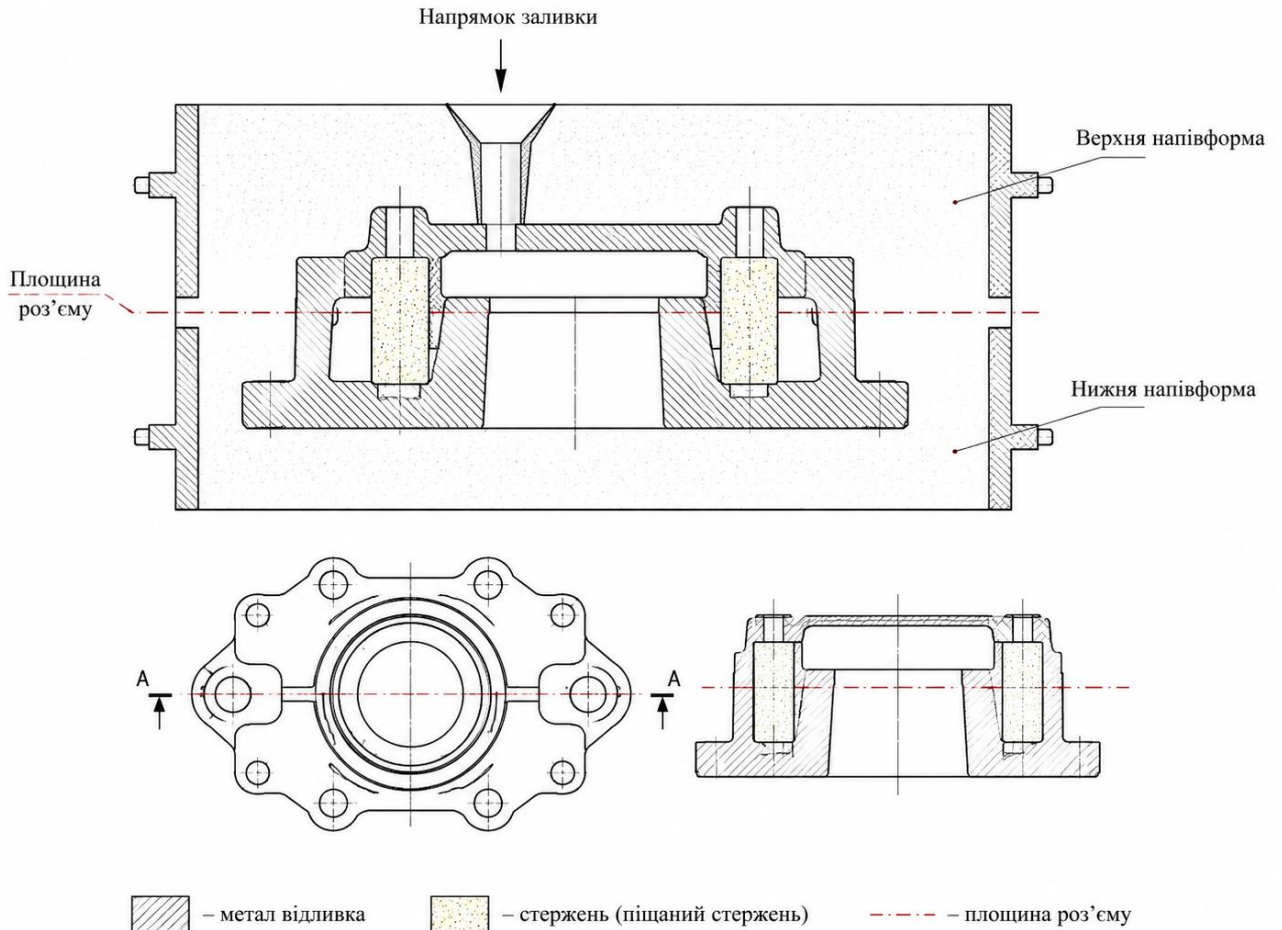


Рисунок 2.2 – Положення відливка у формі та площина роз'єму

При виборі положення відливка враховувалось, що основні оброблювані поверхні повинні займати нижнє або горизонтальне положення під час заливки. Таке розташування сприяє зменшенню ймовірності утворення газових раковин, неметалевих включень та інших дефектів, які можуть виникати у верхніх частинах відливка під час кристалізації металу. Крім того, забезпечуються кращі умови для отримання необхідної точності посадкових поверхонь після механічної обробки.

Площину роз'єму форми прийнято горизонтальною та єдиною для всього відливка. Таке рішення дозволяє використовувати машинне формування, спрощує конструкцію модельного комплекту та забезпечує високу продуктивність виготовлення форм. Важливою перевагою обраного варіанта є відсутність необхідності застосування знімних частин моделі, що суттєво спрощує виготовлення оснащення та підвищує точність відтворення геометрії відливка.

Розташування площини роз'єму вибрано таким чином, щоб основна частина відливка рівномірно розміщувалася у верхній та нижній напівформах. Це забезпечує надійне встановлення стержнів, полегшує складання форми та створює сприятливі умови для контролю правильності взаємного розташування її елементів. Крім того, таке рішення сприяє вільному вийманню моделі з форми без пошкодження формувальної суміші.

Прийняте положення відливка забезпечує також рівномірне ущільнення формувальної суміші навколо моделі, що позитивно впливає на якість поверхні відливка та точність його геометричних розмірів. Відсутність складних піднутрень і знімних елементів дозволяє спростити технологію виготовлення форми та підвищити надійність процесу формування.

Таким чином, обране горизонтальне положення відливка та єдина горизонтальна площина роз'єму забезпечують високу технологічність процесу виготовлення форми, надійне встановлення стержнів, якісне заповнення форми металом та отримання відливка, що відповідає встановленим технічним вимогам.

2.4 Вибір припусків, формувальних ухилів і стержнів

Для забезпечення необхідної точності розмірів готової деталі та можливості подальшої механічної обробки при проектуванні відливка необхідно призначити припуски на механічну обробку, формувальні ухили та визначити конструкцію стержневого оснащення.

Припуски на механічну обробку призначаються відповідно до вимог ГОСТ 26645–85 з урахуванням матеріалу відливка, його габаритних розмірів, класу точності та характеру оброблюваних поверхонь. Для відлиwkів із високоміцного чавуну ВЧ450-10 VIII класу точності величина припусків на механічну обробку становить 3–5 мм залежно від розмірів та призначення поверхонь.

Основними поверхнями, які підлягають механічній обробці, є посадкові поверхні під вал та кріпильні отвори. Для забезпечення необхідної точності та якості поверхні на зазначених елементах призначаються припуски на механічну

обробку, достатні для усунення поверхневих дефектів лиття та отримання заданих розмірів деталі.

Для забезпечення вільного виймання моделі з форми на вертикальних поверхнях передбачаються формувальні ухили. Величини ухилів приймаються відповідно до рекомендацій ГОСТ 3212–92 і для зовнішніх поверхонь становлять 1° – $1,5^{\circ}$, а для внутрішніх поверхонь — $1,5^{\circ}$ – 3° . Наявність формувальних ухилів запобігає руйнуванню форми під час виймання моделі та сприяє підвищенню якості поверхні відливка.

Конструкція відливка містить внутрішні порожнини, які неможливо отримати лише за допомогою моделі. Тому для їх формування передбачається використання стержнів. Стержні забезпечують отримання внутрішніх поверхонь необхідної конфігурації та точності.

Для формування внутрішніх порожнин відливка використовуються три стержні, конструкція яких визначається геометрією деталі та розташуванням внутрішніх каналів. Встановлення стержнів здійснюється у спеціально передбачені стержневі знаки, що забезпечує їх точне позиціонування під час складання форми та заливки металу.

Виготовлення стержнів передбачається здійснювати в холодних ящиках із використанням швидкотвердіючих сумішей. Даний спосіб дозволяє отримати стержні з високою точністю геометричних розмірів, достатньою міцністю та доброю газопроникністю. Крім того, використання холоднотвердіючих сумішей забезпечує стабільність якості стержнів і сприяє підвищенню точності відлиwkів.

Таким чином, прийняті припуски на механічну обробку, формувальні ухили та конструкція стержневого оснащення забезпечують можливість виготовлення відливка відповідно до встановлених технічних вимог та створюють необхідні умови для отримання якісної готової деталі.

2.5 Розрахунок ливниково-живильної системи

Для виготовлення відливка фланцевої корпусної кришки з високоміцного чавуну ВЧ450-10 прийнято нижнє підведення металу через стояк,

шлаковловлювач та живильники. Така схема забезпечує спокійне заповнення порожнини форми, знижує турбулентність потоку, сприяє затриманню неметалевих включень та зменшує ймовірність утворення газових і шлакових дефектів. Конструкція ливникової системи вибрана з урахуванням конфігурації відливка, його маси 12,91 кг та необхідності забезпечення спрямованого твердіння масивних ділянок.

Ливниково-живильна система є одним із найважливіших елементів технологічного процесу виготовлення відливка, оскільки забезпечує подачу рідкого металу до порожнини форми, створює умови для її повного заповнення та сприяє отриманню якісного вилівка без ливарних дефектів. Правильно спроектована ливниково-живильна система повинна забезпечувати плавний рух металу, мінімізувати його турбулентність, запобігати захопленню повітря та затримувати шлакові включення.

Для відливка фланцевої корпусної кришки з високоміцного чавуну ВЧ450-10 прийнято ливниково-живильну систему з нижнім підведенням металу. Така схема забезпечує рівномірне заповнення порожнини форми, зменшує небезпеку окиснення металу під час заливки та сприяє отриманню щільної структури відливка. Крім того, обрана конструкція ливникової системи дозволяє ефективно відокремлювати неметалеві включення та забезпечує стабільний режим заливки.

Розрахунок ливникової системи виконується на основі маси відливка, фізичних властивостей сплаву та прийнятих параметрів процесу заливки. Основними розрахунковими параметрами є площі поперечних перерізів живильників, шлаковловлювача та стояка, від яких залежить швидкість руху металу та характер заповнення форми.

Загальна площа живильників на один відливок визначається за формулою:

$$\sum F_{жк} = \frac{G \cdot 1000}{\mu r \gamma \sqrt{2gH_p}}, \quad (2.1)$$

де G – вага одного відливка, з ливниками і т.п., кг; μ – коефіцієнт витрат металу, $\mu = 0,35$ [13]; g – прискорення вільного падіння, м/сек²; H_p – середній метало статичний тиск, см.

При проєктуванні ливниково-живильної системи важливим етапом є визначення середнього металостатичного напору, від якого залежить швидкість заповнення порожнини форми та площа поперечних перерізів ливникових каналів. Середній металостатичний напір розраховуємо з урахуванням висоти стовпа рідкого металу та геометричних розмірів відливка за формулою:

$$H_p = H_0 - \frac{p^2}{C}; \quad (2.2)$$

де H_0 – висота металу в чаші, $H_0 = 150$ мм; p – висота відливка над рівнем підйому металу, $p = 36$ мм; C – загальна висота відливка, $c = 74$ мм.

$$H_p = 150 - \frac{36^2}{74} = 132,5 \text{ мм} = 13,25 \text{ см}$$

$$\sum F_{жс} = \frac{33,97}{0,75 \cdot 8,3 \cdot 7800 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,13205}} = 0,000434 \text{ м}^2$$

Враховуючи конструкцію відливка та прийняту схему ливникової системи, поперечний переріз живильника приймаємо трапецієподібної форми. Таке рішення забезпечує технологічність виготовлення форми та сприяє рівномірному руху металу під час заливки. Для ефективного очищення потоку металу від шлакових включень виконуємо розрахунок площі поперечного перерізу шлаковловлювача за формулою:

$$\sum F_{жс} : \sum F_{ш} : \sum F_{см} = 1 : 1,1 : 1,5 \quad (2.3)$$

$$\sum F_{ш} = \sum F_{жс} \cdot 1,1 = 4,34 \cdot 1,1 = 4,77 \text{ см}^2$$

Одним із основних елементів ливникової системи є стояк, через який рідкий метал надходить із ливникової чаші до шлаковловлювача та живильників. Конструкція стояка повинна забезпечувати безперервний потік металу, мінімізувати його завихрення та запобігати підсмоктуванню повітря під час заливки форми. Від правильно вибраного поперечного перерізу стояка залежить швидкість руху металу в ливниковій системі та якість заповнення порожнини форми.

Площу поперечного перерізу стояка визначаємо з урахуванням прийнятого співвідношення елементів ливникової системи за формулою:

$$F_{см} = \sum F_{ш} \cdot 1,5 \quad (2.4)$$

$$F_{cm} = 4,34 \cdot 1,5 = 6,51 \text{ см}^2$$

Оскільки:

$$F_{cm} = \frac{\pi \cdot d_{cm}^2}{4} \quad (2.5)$$

Діаметр стояка:

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{cm}}{\pi}} \quad (2.6)$$

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,51}{3,14}} = 2,87 \text{ см}$$

Приймаємо $d_{cm} = 30$ мм.

Завершальним етапом розрахунку основних елементів ливникової системи є визначення розмірів ливникової чаші. Ливникова чаша призначена для приймання металу з ковша, створення необхідного запасу рідкого металу перед надходженням у стояк та забезпечення спокійного режиму заливки. Крім того, у ливниковій чаші відбувається часткове затримання шлакових включень і неметалевих домішок, що сприяє підвищенню якості відливка.

Розміри чаші повинні забезпечувати безперервне надходження металу до ливникової системи протягом усього процесу заливки та виключати можливість утворення воронки над стояком. Діаметр ливникової чаші для одного відливка визначаємо за формулою:

$$D = (2,7 \dots 3) \cdot d_{cm} \quad (2.7)$$

$$D = 3 \cdot 30 = 90 \text{ мм}$$

Таким чином, у результаті проведеного розрахунку визначено основні геометричні параметри ливникової системи, які забезпечують рівномірне заповнення порожнини форми, ефективне затримання шлакових включень та отримання якісного відливка без ливарних дефектів.

Висновки до розділу 2

У другому розділі розроблено технологію виготовлення відливка фланцевої корпусної кришки з високоміцного чавуну ВЧ450-10. На підставі аналізу конструкції відливка та технічних вимог встановлено, що деталь належить до відливків середньої складності та характеризується наявністю внутрішніх порожнин, оброблюваних поверхонь і підвищеними вимогами до якості металу та точності виготовлення.

Для виробництва відливка обрано технологію лиття в піщано-глинисті форми з використанням автоматичної формувальної лінії Savelli. Застосування даного способу забезпечує необхідний VIII клас точності відливка, високу продуктивність виробництва та стабільність технологічних параметрів процесу.

Обґрунтовано вибір горизонтального положення відливка у формі та єдиної горизонтальної площини роз'єму. Прийняте рішення забезпечує зручність формування, надійне встановлення стержнів, якісне заповнення порожнини форми металом і знижує ймовірність виникнення ливарних дефектів.

Виконано вибір припусків на механічну обробку, формувальних ухилів та стержневого оснащення. Для формування внутрішніх порожнин передбачено використання трьох стержнів, що дозволяє отримати необхідну конфігурацію внутрішніх поверхонь відливка та забезпечити задану точність розмірів.

Проведено розрахунок ливниково-живильної системи, у результаті якого визначено основні параметри її елементів. Прийнята система з нижнім підведенням металу забезпечує рівномірне заповнення порожнини форми, ефективно затримання шлакових включень та створює сприятливі умови для отримання щільного відливка без внутрішніх дефектів.

Розроблено технологічний процес виготовлення відливка, який включає операції формування напівформ, виготовлення та встановлення стержнів, складання форми, заливки металу, охолодження, вибивки, очищення та контролю якості готової продукції. Запропонована технологія забезпечує отримання якісного відливка фланцевої корпусної кришки відповідно до вимог конструкторської документації та умов серійного виробництва.

РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВІДЛИВКА

3.1 Конструкція ливарної форми

Конструкція ливарної форми визначається конфігурацією відливка, його габаритними розмірами, масою, прийнятим способом формування та особливостями ливниково-живильної системи. Основним завданням під час проєктування форми є забезпечення отримання якісного відливка, зручності формування та складання, а також надійного встановлення стержнів і елементів ливникової системи.

Габаритні розміри опоки обираються з урахуванням розмірів відливка, конструкції ливниково-живильної системи, необхідної товщини шару формувальної суміші навколо відливка та вимог технологічності формування. Рациональне розміщення відливка у формі забезпечує достатню міцність напівформ під час транспортування, заливки та охолодження металу.

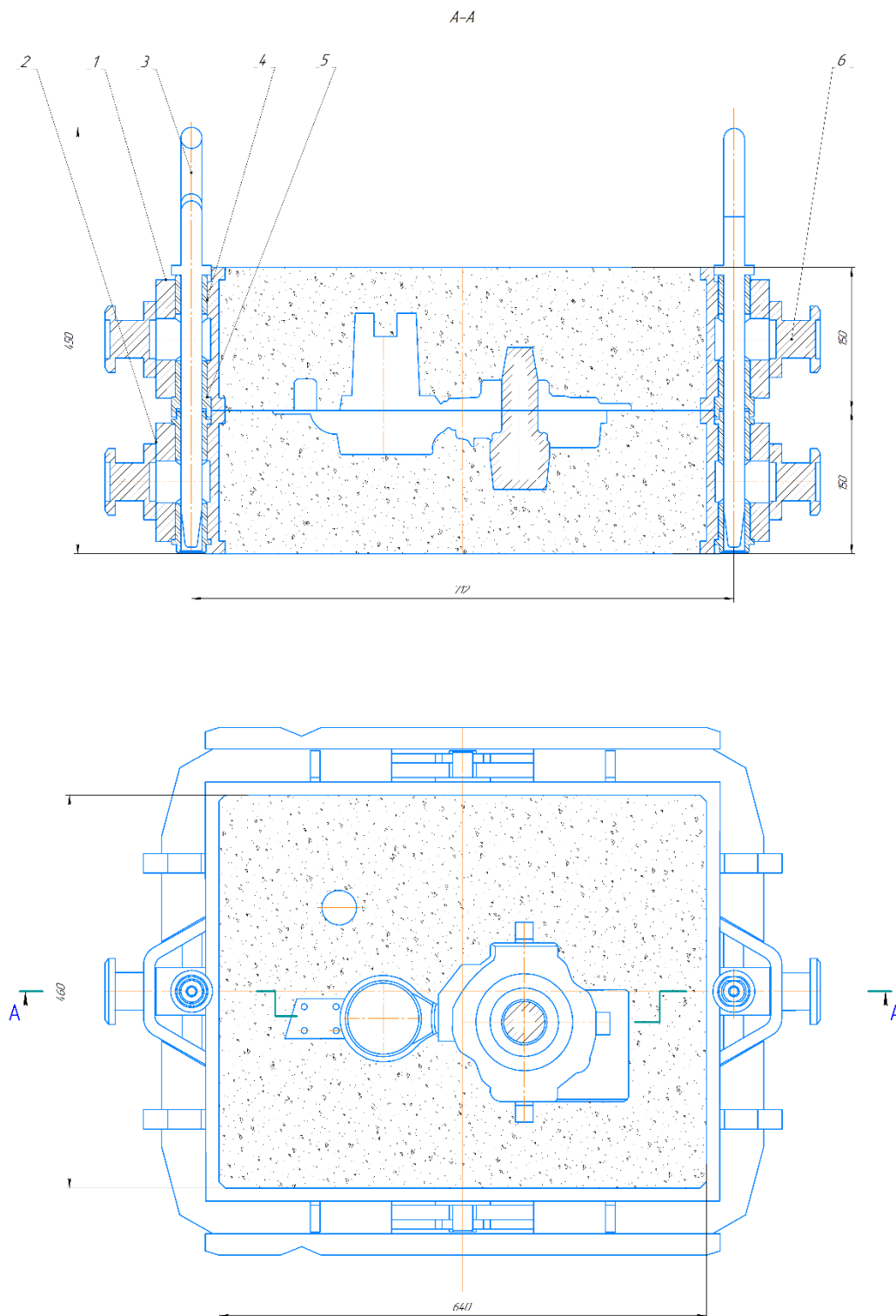
Для виготовлення відливка використовується автоматична формувальна лінія Savelli, на якій застосовуються опоки розміром 640×460×150 мм. З огляду на габаритні розміри та масу відливка, а також конфігурацію прийнятої ливниково-живильної системи, в одній опоці розміщується один відлинок.

Під час компонування форми забезпечуються нормативні відстані між відливком та стінками опоки, а також між окремими елементами ливникової системи. Відстань від тіла відливка до стінок опоки приймається в межах 50–100 мм, що гарантує достатню міцність форми та запобігає її руйнуванню під час заливки. Відстань від стержневих знаків до бокових стінок опоки забезпечує надійне встановлення стержнів та зручність складання форми.

Конструкція ливарної форми передбачає наявність верхньої та нижньої напівформ, які утворюють робочу порожнину відливка після складання. У формі розташовані елементи ливниково-живильної системи, що забезпечують підведення металу до порожнини форми та його рівномірний розподіл під час заливки. Для формування внутрішніх порожнин відливка використовуються

стержні, які встановлюються у спеціально передбачені стержневі знаки.

Загальний вигляд ливарної форми в зборі наведено на рис. 3.1.



1 - верхня опока; 2 - нижня опока; 3 - стержень; 4 - стояк; 5 - випор; 6 - штифт

Рисунок 3.1 – Ливарна форма в зборі для виготовлення фланцевої корпусної

кришки

Ливарна форма складається з верхньої та нижньої напівформ, які після складання утворюють робочу порожнину відливка. Відливочок розташований відносно площини роз'єму симетрично, що забезпечує зручність формування, встановлення стержнів та складання форми.

Підведення металу до порожнини форми здійснюється через ливниково-живильну систему, до складу якої входять ливникова чаша, стояк, шлаковловлювач та живильник. Прийнята схема забезпечує спокійне заповнення форми розплавом, сприяє затриманню шлакових включень та зменшує ймовірність виникнення ливарних дефектів.

Для формування внутрішніх порожнин відливка в конструкції форми передбачено використання стержня, який встановлюється у відповідні стержневі знаки. Таке конструктивне рішення забезпечує отримання внутрішніх поверхонь необхідної конфігурації та точності.

У верхній частині форми передбачено випір, призначений для видалення повітря та газів із порожнини форми під час її заповнення металом. Наявність випору покращує умови заливки та знижує ймовірність утворення газових раковин у відливку.

Прийнята конструкція ливарної форми забезпечує надійне встановлення всіх її елементів, зручність складання та отримання якісного відливка відповідно до вимог конструкторської документації.

Прийнята конструкція ливарної форми забезпечує технологічність процесу виготовлення відливка, надійне встановлення стержнів, якісне заповнення порожнини форми металом та отримання відливка відповідно до встановлених технічних вимог.

3.2 Складання форми та встановлення стержнів

Після завершення операцій формування верхньої та нижньої напівформ виконується складання ливарної форми. Перед початком складання здійснюється очищення площини роз'єму від залишків формувальної суміші та контроль якості відбитків моделі.

Складання форми починається зі встановлення стержня у відповідні стержневі знаки нижньої напівформи. Схему розташування стержня відносно порожнини відливка наведено на рис. 3.1. Стержень забезпечує формування внутрішньої порожнини деталі та повинен бути точно встановлений відносно осі відливка.

Після встановлення стержня перевіряється правильність його базування у стержневих знаках та відсутність перекосів. Надійна фіксація стержня виключає можливість його зміщення під дією металостатичного тиску під час заливки форми.

Наступним етапом є встановлення верхньої напівформи на нижню. Центрування напівформ здійснюється за допомогою напрямних елементів, що забезпечують точне суміщення робочих поверхонь форми. У результаті складання утворюється замкнена порожнина, яка відповідає конфігурації майбутнього відливка.

Загальний вигляд складеної ливарної форми наведено на рис. 3.1. Як видно з рисунка, відливки розташовані симетрично відносно площини роз'єму, а стержень займає проектне положення всередині порожнини форми.

Після складання форми перевіряється правильність взаємного розташування напівформ, прохідність каналів ливниково-живильної системи та надійність встановлення стержня. Після завершення контролю форма подається на ділянку заливки.

3.3 Заливка, охолодження та вибивка відливків

Якість відливка значною мірою залежить від правильного виконання операцій заливки, охолодження та вибивки. Від дотримання встановлених технологічних параметрів на даних етапах залежить формування структури металу, відсутність внутрішніх і поверхневих дефектів, а також відповідність відливка вимогам конструкторської документації.

Для виготовлення відливка на автоматичній ливарній лінії Savelli використовується єдина піщано-глиниста формувальна суміш із підвищеною

рідкотекучістю, що забезпечує якісне формування робочої порожнини форми та достатню міцність напівформ під час транспортування, складання і заливки. Для виготовлення стержнів застосовуються спеціальні стержньові суміші, які забезпечують необхідну точність внутрішніх поверхонь відливка та легке руйнування після завершення процесу кристалізації металу.

Напівформи виготовляються машинним способом на автоматичній формувальній лінії. Формувальна суміш із бункерів подається до формувальної машини, де відбувається заповнення опок та ущільнення суміші. Після видалення моделі виконуються необхідні технологічні операції, пов'язані з підготовкою форми до складання. Верхня та нижня напівформи після контролю подаються на дільницю складання, де встановлюються стержні та здійснюється збирання форми.

Після завершення складання форми виконують її заливання розплавленим високоміцним чавуном марки ВЧ450-10. Температура металу під час заливки повинна знаходитися в межах 1320–1380 °С. Розплавлений метал із плавильного агрегату надходить у попередньо підігрітий конічний ківш місткістю 1 т, після чого транспортується до місця заливки. Для безпосереднього заповнення форм використовуються чайникові ковші місткістю 250 кг, встановлені на заливальній машині.

Перед початком заливки з поверхні металу видаляється шлак. Носок ковша встановлюють над ливниковою чашею на відстані 150–200 мм. У процесі заливки необхідно швидко заповнити ливникову чашу металом та підтримувати її заповненою до завершення процесу. Заливка повинна здійснюватися безперервно, без різких змін швидкості потоку металу. Дотримання зазначених вимог забезпечує рівномірне заповнення порожнини форми та зменшує ймовірність утворення газових і шлакових дефектів.

Ливникова система являє собою сукупність взаємопов'язаних каналів і елементів, призначених для транспортування рідкого металу від ливникової чаші до робочої порожнини форми. Основним призначенням ливникової системи є забезпечення рівномірного та безперервного заповнення форми розплавом із мінімальними втратами температури, затримання шлакових включень та

створення умов для отримання якісного відливка без внутрішніх і поверхневих дефектів.

Одним із найважливіших параметрів під час проєктування ливникової системи є тривалість заливки форми. Від швидкості заповнення порожнини форми залежить характер руху металу, інтенсивність його охолодження, умови формування структури відливка та ймовірність виникнення таких дефектів, як недоливи, газова пористість або шлакові включення. Надмірно швидка заливка може викликати турбулентний рух металу та захоплення повітря, тоді як надто повільне заповнення форми призводить до передчасного охолодження розплаву та погіршення заповнюваності тонкостінних ділянок.

З метою забезпечення оптимального режиму заповнення форми визначають розрахункову тривалість заливки, яку обчислюють за такою залежністю:

$$t = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot C_1}, \quad (3.1)$$

де S_1 – коефіцієнт, $S_1 = 0,9$ [17]; δ – середня товщина стінок відливка, $\delta = 23$ мм; C_1 – вага одного відливка з ливниковою системою, кг.

$$C_1 = C_g + 0,4 \cdot C_g + C_{nid} \quad (3.2)$$

$$C_1 = 12,91 + 0,4 \cdot 12,91 + 16 = 33,97 \text{ кг}$$

Тоді:

$$t = 0,9 \cdot \sqrt[3]{23 \cdot 33,97} = 8,3 \text{ с}$$

Для перевірки правильності прийнятих параметрів ливниково-живильної системи виконується визначення середньої швидкості підйому металу у формі. Даний показник характеризує швидкість заповнення порожнини відливка та дозволяє оцінити відповідність режиму заливки вимогам технологічного процесу. Середню швидкість підйому рівня металу у формі визначаємо за формулою:

$$v = \frac{C}{t}, \quad (3.3)$$

де C – висота відливка, мм; t – оптимальна тривалість заливки, с.

$$V = \frac{74}{8,3} = 8,91 \text{ мм/сек.}$$

Оптимальна тривалість заливки повинна забезпечувати таку швидкість підйому рідкого металу у формі, за якої відбувається повне заповнення її порожнини без утворення недоливів, шлакових включень та газових дефектів. Правильно обраний час заливки сприяє стабільному перебігу процесу кристалізації та формуванню якісної структури відливка.

Після завершення заливки форми переміщуються по охолоджувальній ділянці лінії, де відбувається кристалізація та охолодження металу. У процесі охолодження формується структура високоміцного чавуну з кулястою формою графіту та необхідними механічними властивостями. Тривалість охолодження визначається масою відливка, товщиною його стінок та властивостями формувальної суміші.

Після закінчення часу охолодження ком формувальної суміші разом із відливками подається на вибивну дільницю. Вміст опок видаляється за допомогою гідравлічного пристрою та направляється на вібраційний стіл. Під дією вібрації відливки звільняються від формувальної суміші, яка надалі надходить на регенерацію та повторне використання.

Після вибивки відливки транспортуються до охолоджувального барабана, де здійснюється їх додаткове охолодження та попереднє очищення поверхні. Наступною операцією є очищення у дробометних барабанах, під час якого видаляються залишки формувальної суміші та пригар. Для усунення заусениць, заливів та інших поверхневих нерівностей виконується механічна зачистка на шліфувальних верстатах.

Завершальним етапом технологічного процесу є контроль якості відливоків. На дільниці контролю здійснюється перевірка геометричних розмірів, структури та відповідності відливоків технічним вимогам. Поверхневі дефекти виявляються візуальним оглядом, а якість металу контролюється за результатами перевірки хімічного складу та структури матеріалу.

Таким чином, дотримання встановлених режимів заливки, охолодження та вибивки забезпечує отримання якісного відливка з високоміцного чавуну ВЧ450-10, який відповідає вимогам конструкторської та технологічної документації.

3.4 Контроль якості відливоків та можливі дефекти

Контроль якості є завершальним етапом технологічного процесу виготовлення відливоків і спрямований на забезпечення відповідності готової продукції вимогам конструкторської та технологічної документації. Від якості контролю залежить своєчасне виявлення дефектів, попередження потрапляння бракованих виробів на подальшу механічну обробку та підвищення надійності готової продукції.

Контроль якості відливоків із високоміцного чавуну ВЧ450-10 здійснюється на всіх стадіях виробництва. У процесі виготовлення контролюються параметри формувальних і стержньових сумішей, правильність складання форми, температура заливки металу, режими охолодження та очищення відливоків. Після завершення технологічного процесу проводиться остаточний контроль готових виробів.

Під час приймального контролю перевіряються геометричні розміри відливка, якість поверхні, структура металу та відповідність механічних властивостей встановленим вимогам. Геометричні розміри контролюють за допомогою універсального вимірювального інструменту та спеціальних шаблонів. Особлива увага приділяється розмірам поверхонь, що надалі підлягають механічній обробці.

Якість поверхні відливка оцінюється шляхом зовнішнього огляду. На поверхні не допускаються тріщини, пригар, значні раковини, недоливи та інші дефекти, які можуть впливати на працездатність деталі. Для контролю структури металу виконуються металографічні дослідження зразків, а також перевіряються показники твердості відповідно до вимог технічної документації.

У процесі виготовлення відливоків можуть виникати різноманітні ливарні дефекти. Найбільш поширені дефекти та причини їх виникнення наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні дефекти відливоків та способи їх попередження

Дефект	Причини виникнення	Способи попередження
Газові раковини	Підвищена вологість суміші, недостатня газопроникність форми, турбулентне заповнення форми	Контроль вологості суміші, покращення вентиляції форми, дотримання режиму заливки
Усадочні раковини	Недостатнє живлення металу під час твердіння	Правильний розрахунок ливниково-живильної системи, забезпечення спрямованого твердіння
Шлакові включення	Потрапляння шлаку у форму під час заливки	Очищення металу від шлаку, використання шлаковловлювачів
Недолив	Низька температура металу, недостатня рідкотекучість сплаву	Дотримання температури заливки, удосконалення ливникової системи
Пригар	Висока температура заливки, низька вогнетривкість суміші	Використання якісних формувальних матеріалів, контроль температурного режиму
Перекіс відливка	Неточне складання форми, зміщення напівформ	Контроль складання форми та стану центруючих елементів
Зміщення стержня	Недостатня фіксація стержня у знаках	Надійне встановлення та закріплення стержнів
Тріщини	Високі внутрішні напруження під час охолодження	Оптимізація конструкції відливка та режиму охолодження

Для відливка фланцевої корпусної кришки особливу увагу необхідно приділяти попередженню газових і усадочних раковин, а також зміщенню стержнів, оскільки зазначені дефекти можуть призвести до порушення геометрії внутрішніх поверхонь та погіршення експлуатаційних характеристик деталі.

Таким чином, ефективна система контролю якості та дотримання технологічних режимів на всіх стадіях виробництва дозволяють забезпечити отримання відливок із високоміцного чавуну ВЧ450-10, що відповідають встановленим технічним вимогам та мають високі експлуатаційні характеристики.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі розглянуто особливості виготовлення та контролю якості відливка фланцевої корпусної кришки з високоміцного чавуну ВЧ450-10. На основі розробленої технології проаналізовано конструкцію ливарної форми, порядок її складання та особливості встановлення стержнів, які забезпечують формування внутрішніх порожнин і необхідної геометрії відливка.

Встановлено, що прийнята конструкція ливарної форми відповідає вимогам серійного виробництва та забезпечує надійне розміщення відливка, елементів ливниково-живильної системи і стержнів. Правильне складання форми та точне встановлення стержнів є необхідною умовою отримання відливок із заданими розмірами та мінімальними відхиленнями від конструкторської документації.

Розглянуто технологічні особливості заливки, охолодження та вибивки відливок. Встановлено, що дотримання рекомендованої температури заливки високоміцного чавуну ВЧ450-10 у межах 1320–1380 °С забезпечує якісне заповнення порожнини форми та сприяє формуванню необхідної структури металу. Раціонально організовані процеси охолодження та вибивки дозволяють знизити рівень внутрішніх напружень і запобігти утворенню дефектів.

Проведено аналіз методів контролю якості готових відливок та основних дефектів, які можуть виникати в процесі виробництва. Визначено причини

утворення газових і усадочних раковин, шлакових включень, недоливів, пригару та зміщення стержнів, а також наведено заходи щодо їх попередження. Використання комплексу технологічних і контрольних операцій дозволяє забезпечити стабільну якість литва та відповідність відливоків встановленим технічним вимогам.

Таким чином, прийняті конструктивні та технологічні рішення забезпечують отримання якісного відливка фланцевої корпусної кришки з необхідними геометричними параметрами, структурою та експлуатаційними властивостями, що відповідають умовам серійного виробництва.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі розроблено технологію виготовлення відливка фланцевої корпусної кришки з високоміцного чавуну ВЧ450-10 для умов серійного виробництва. Проведено аналіз конструкції деталі та властивостей матеріалу, що дозволило обґрунтувати вибір способу лиття та основних технологічних параметрів процесу.

Виконано проєктування технологічного процесу виготовлення відливка, визначено положення відливка у формі, площину роз'єму, припуски на механічну обробку, формувальні ухили та конструкцію стержневого оснащення. Проведено розрахунок ливниково-живильної системи та визначено основні параметри її елементів.

Розроблено конструкцію ливарної форми та розглянуто особливості її складання, заливки, охолодження і вибивки відливків. Встановлено, що прийняті технологічні рішення забезпечують якісне заповнення форми металом та формування відливка відповідно до вимог конструкторської документації.

Проаналізовано методи контролю якості готових відливків, визначено можливі дефекти та заходи щодо їх попередження. Розроблена технологія забезпечує отримання якісного відливка фланцевої корпусної кришки з необхідними геометричними параметрами, структурою та експлуатаційними властивостями і може бути рекомендована для використання в умовах серійного виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 3925-99. Чавун високоміцний з кулястим графітом для виливків. Марки. – Київ : Держстандарт України, 1999. – 14 с.
2. ДСТУ 8833:2019. Литво. Терміни та визначення понять. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 42 с.
3. Назаренко І. І., Шинський О. Й. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів. – Київ : Видавничий дім «Кондор», 2020. – 356 с.
4. Шинський О. Й. Теорія та технологія ливарного виробництва. – Київ : НТУУ «КПІ», 2018. – 412 с.
5. Дорошенко В. С. Основи ливарного виробництва. – Київ : ІЗМН, 2017. – 328 с.
6. Волощенко М. В. Технологія ливарної форми. – Харків : НТУ «ХПІ», 2019. – 284 с.
7. Калюжний П. Б. Формувальні матеріали та суміші у ливарному виробництві. – Київ : Логос, 2018. – 216 с.
8. Гаврилюк В. П. Високоміцні чавуни та їх застосування у машинобудуванні. – Дніпро : Пороги, 2020. – 245 с.
9. Кузьмін О. В., Кропивний В. М. Ливарні сплави та технології їх отримання. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021. – 198 с.
10. Campbell J. Complete Casting Handbook. 2nd ed. – Oxford : Elsevier, 2015. – 784 p.
11. Beeley P. Foundry Technology. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2018. – 512 p.
12. Stefanescu D. M. Science and Engineering of Casting Solidification. – New York : Springer, 2015. – 558 p.
13. Stefanescu D. M. Cast Iron Science and Technology. – Ohio : ASM International, 2018. – 430 p.
14. Brown J. R. Foseco Ferrous Foundryman's Handbook. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2019. – 384 p.

ДОДАТКИ