

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 процесу виготовлення виливка «Ступиця
з фланцем» із сірого чавуну СЧ20 у піщано-
глинистій формі»**

«Development of the manufacturing process for the casting "Hub with
flange" from gray cast iron СЧ20 in a sand-clay mold»

Виконав здобувач вищої освіти:

IV курсу, групи ПМ-22-1

ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій,

робототехніка і 3D друк»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Мішкою А.М.

Керівник роботи:

к.т.н. доцент _____ Олександр КУЗИК

Рецензент: _____

Кропивницький – 2026

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**

Мішкой Артем Миколайович

1. Тема роботи: "Розробка процесу виготовлення виливка «Ступиця з фланцем» із сірого чавуну СЧ20 у піщано-глинистій формі" 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 розроблення технологічного процесу виготовлення виливка «Ступиця з фланцем» із сірого чавуну СЧ20 у піщано-глинистій формі.
Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:
 - проаналізувати призначення, конструкцію та умови експлуатації деталі;
 - дослідити властивості матеріалу СЧ20 та оцінити технологічність конструкції;
 - обґрунтувати вибір способу виготовлення виливка;
 - визначити положення виливка у формі та площину рознімання;
 - призначити припуски на механічну обробку, формувальні ухили та стрижневе оснащення;
 - виконати розрахунок ливниково-живильної системи;
 - розробити конструкцію ливарної форми;
 - визначити технологічні режими заливання, охолодження та вибивання виливка;
 - проаналізувати методи контролю якості 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

_____ Артем Мішкою

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розроблено технологічний процес виготовлення виливка «Ступиця з фланцем» із сірого чавуну СЧ20 у піщано-глинистій формі.

Проведено аналіз призначення, конструкції та умов експлуатації деталі. Встановлено, що конструкція виливка є технологічною для виготовлення методом лиття у піщано-глинисті форми та забезпечує можливість отримання деталі з необхідними експлуатаційними характеристиками.

Виконано аналіз властивостей сірого чавуну СЧ20 та обґрунтовано його використання для виготовлення досліджуваної деталі. Розроблено технологію виготовлення виливка, обрано спосіб формування, визначено положення виливка у формі та площину рознімання. Призначено припуски на механічну обробку, формувальні ухили та конструкцію стрижневого оснащення.

Виконано розрахунок ливниково-живильної системи, що забезпечує рівномірне заповнення порожнини форми металом та отримання якісного виливка без суттєвих ливарних дефектів. Розроблено конструкцію ливарної форми, розглянуто особливості її складання, встановлення стрижня, процеси заливання, охолодження та вибивання виливка.

Проаналізовано методи контролю якості готової продукції, наведено основні ливарні дефекти, причини їх виникнення та способи попередження. Запропоновані технологічні рішення забезпечують отримання якісного виливка «Ступиця з фланцем» із необхідними геометричними параметрами та механічними властивостями.

Кваліфікаційна робота містить 48 сторінок, ___ рисунків, ___ таблиць, ___ використаних джерел та 2 додатки.

Ключові слова: ступиця з фланцем, виливок, сірий чавун СЧ20, ливарна форма, піщано-глиниста форма, ливниково-живильна система, стрижень, лиття, технологічний процес, контроль якості.

ABSTRACT

The qualification thesis is devoted to the development of a manufacturing process for the casting "Hub with Flange" made of gray cast iron SC20 in a sand-clay mold.

The purpose of the work is to develop a rational casting technology that ensures the production of a high-quality casting with the required geometric parameters, mechanical properties and operational reliability.

The design features and operating conditions of the part were analyzed. The technological manufacturability of the casting and the suitability of gray cast iron SC20 as the material for its production were substantiated. The chemical composition, structure and properties of the selected material were considered.

A casting production technology was developed, including the selection of the molding method, determination of the casting position in the mold and the parting plane, assignment of machining allowances and draft angles, and design of the core equipment. The gating and feeding system was calculated and designed to ensure uniform mold filling and to minimize the occurrence of casting defects.

A mold design for producing the casting was developed. The processes of mold assembly, core installation, pouring, cooling and shakeout were described. The methods of quality control and the most common casting defects, as well as measures for their prevention, were analyzed.

The proposed technological solutions make it possible to obtain a high-quality casting "Hub with Flange" that meets the requirements of design documentation and operating conditions.

Keywords: hub with flange, casting, gray cast iron SC20, sand-clay mold, gating system, foundry technology, casting process, mold design, quality control, machining allowances.

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 СЧ-20 та оцінка технологічності конструкції.....	13
Висновки до розділу 1.....	17
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДЛИВКА.....	18
2.1 Аналіз конструкції відливка та технічних вимог.....	18
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.....	26
Висновки до розділу 2.....	30
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ЛИВАРНОЇ ФОРМИ.....	32
3.1 Конструкція ливарної форми.....	32
3.2 Складання форми та встановлення стержнів.....	35
3.3 Заливка, охолодження та вибивка відливоків.....	36
3.4 Контроль якості відливоків та можливі дефекти.....	40
Висновки до розділу 3.....	41
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	43
Список використаних джерел.....	45
Додатки.....	46

ВСТУП

Ливарне виробництво є однією з базових галузей машинобудування, яка забезпечує виготовлення деталей складної конфігурації з високим коефіцієнтом використання металу та відносно невеликими витратами на механічну обробку. Значна частина деталей машин, механізмів і технологічного обладнання виготовляється саме методом лиття, що обумовлено його універсальністю, економічною ефективністю та можливістю отримання виробів складної форми.

Серед широкої номенклатури ливарної продукції важливе місце займають деталі типу ступиць, які використовуються у вузлах сільськогосподарської техніки, транспортних машин та різноманітного промислового обладнання. Від якості таких деталей залежать надійність роботи механізмів, точність передавання навантажень та довговічність експлуатації обладнання.

Для виготовлення деталей даного типу широко застосовують сірий чавун марки СЧ20, який характеризується добрими ливарними властивостями, достатньою міцністю, високою демпфувальною здатністю та хорошою оброблюваністю різанням. Використання цього матеріалу дозволяє отримувати якісні виливки зі складною конфігурацією при відносно невисокій собівартості виробництва.

Актуальність роботи полягає у необхідності розроблення раціонального технологічного процесу виготовлення вилівка «Ступиця з фланцем», який забезпечуватиме отримання якісної продукції з мінімальною кількістю дефектів, високою точністю геометричних параметрів та економічною ефективністю виробництва.

Метою роботи є розроблення технологічного процесу виготовлення вилівка «Ступиця з фланцем» із сірого чавуну СЧ20 у піщано-глинистій формі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати призначення, конструкцію та умови експлуатації деталі;
- дослідити властивості матеріалу СЧ20 та оцінити технологічність конструкції;
- обґрунтувати вибір способу виготовлення вилівка;

- визначити положення вилівка у формі та площину рознімання;
- призначити припуски на механічну обробку, формувальні ухили та стрижневе оснащення;
- виконати розрахунок ливниково-живильної системи;
- розробити конструкцію ливарної форми;
- визначити технологічні режими заливання, охолодження та вибивання вилівка;
- проаналізувати методи контролю якості та можливі ливарні дефекти.

Об'єктом дослідження є технологічний процес виготовлення вилівка «Ступиця з фланцем» із сірого чавуну СЧ20.

Предметом дослідження є конструктивні та технологічні параметри процесу лиття вилівка у піщано-глинистих формах, які впливають на якість готової продукції.

Практична цінність роботи полягає у розробленні технологічного процесу виготовлення вилівка «Ступиця з фланцем», який може бути використаний під час проєктування та вдосконалення ливарного виробництва, а також у навчальному процесі підготовки фахівців спеціальності 131 «Прикладна механіка».

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МАТЕРІАЛУ

1.1 Призначення та умови експлуатації деталі «Ступиця з фланцем»

Ступиця з фланцем є важливим конструктивним елементом багатьох машин і механізмів, де виконує функції базування, кріплення та передавання навантажень між окремими деталями вузла. Подібні вироби широко застосовуються в транспортному машинобудуванні, сільськогосподарській техніці, технологічному обладнанні, приводних системах, редукторах, механізмах обертального руху та інших інженерних конструкціях. Завдяки поєднанню маточини та фланцевої частини в одній деталі забезпечується надійне з'єднання елементів вузла, спрощується монтаж і підвищується загальна жорсткість конструкції. Загальний вигляд деталі «Ступиця з фланцем» наведено на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд деталі «Ступиця з фланцем»

Деталь являє собою тіло обертання, основними конструктивними елементами якого є центральна маточина, фланцева частина та система кріпильних отворів. Центральний отвір призначений для встановлення на вал або вісь, тоді як фланець забезпечує кріплення ступиці до інших деталей вузла за допомогою болтових або шпилькових з'єднань. Таке конструктивне виконання дозволяє ефективно передавати крутний момент і сприймати радіальні та осьові навантаження, що виникають під час роботи механізму.

У процесі експлуатації ступиця з фланцем працює в умовах дії змінних механічних навантажень, вібрацій та ударних впливів. Залежно від призначення вузла деталь може зазнавати впливу циклічних навантажень, які виникають під

час пуску, зупинки або зміни режимів роботи обладнання. Крім того, на поверхнях контакту можуть виникати сили тертя, що спричиняють поступове зношування окремих елементів конструкції.

Особливе значення для працездатності деталі має точність виготовлення центрального отвору та привалювальних поверхонь фланця. Відхилення геометричних параметрів цих елементів можуть призвести до появи биття, нерівномірного розподілу навантаження, підвищених вібрацій та передчасного зношування спряжених деталей. Саме тому під час виготовлення ступиці особливу увагу приділяють забезпеченню точності посадкових поверхонь і стабільності розмірів після механічної обробки.

Конструкція деталі повинна забезпечувати достатню міцність і жорсткість при відносно невеликій масі. Водночас важливою вимогою є технологічність виготовлення, оскільки деталі подібного типу часто випускаються серійно. Рациональна форма виробу дозволяє ефективно використовувати ливарні технології та мінімізувати витрати на подальшу механічну обробку.

Для виготовлення ступиць із фланцем широко використовують чавуни та сталі. У даній роботі обрано сірий чавун марки СЧ20, який характеризується високою рідкотекучістю, добрими ливарними властивостями, достатньою міцністю та високою здатністю поглинати вібрації. Застосування цього матеріалу дозволяє отримувати якісні фасонні виливки складної конфігурації з мінімальними витратами на виробництво.

Таким чином, ступиця з фланцем є відповідальною деталлю машинобудівних конструкцій, до якої висуваються підвищені вимоги щодо міцності, точності виготовлення та довговічності. Це обумовлює необхідність розроблення раціонального технологічного процесу виготовлення вилівка, який забезпечить отримання якісної деталі з необхідними експлуатаційними характеристиками.

1.2 Аналіз конструкції деталі

Від конструкції ступиці з фланцем залежать надійність з'єднання деталей вузла, точність взаємного розташування елементів механізму та довговічність його роботи. Такі деталі широко застосовуються в машинобудуванні для передавання навантажень і крутного моменту між окремими складовими механізмів. Конструкція ступиць зазвичай характеризується наявністю фланцевої частини, центральної маточини, посадкових поверхонь, кріпильних отворів та ребер жорсткості. Залежно від призначення виробу геометрична форма може відрізнятися, проте основними вимогами залишаються достатня міцність, жорсткість, технологічність виготовлення та можливість забезпечення необхідної точності після механічної обробки.

На рис. 1.2 наведено один із прикладів конструктивного виконання ступиці з фланцем, яка використовується у вузлах машинобудівного обладнання. Аналіз конструкції досліджуваної деталі дозволяє оцінити її технологічність, визначити особливості формоутворення виливка та обґрунтувати вибір подальших технологічних рішень при розробленні процесу лиття.

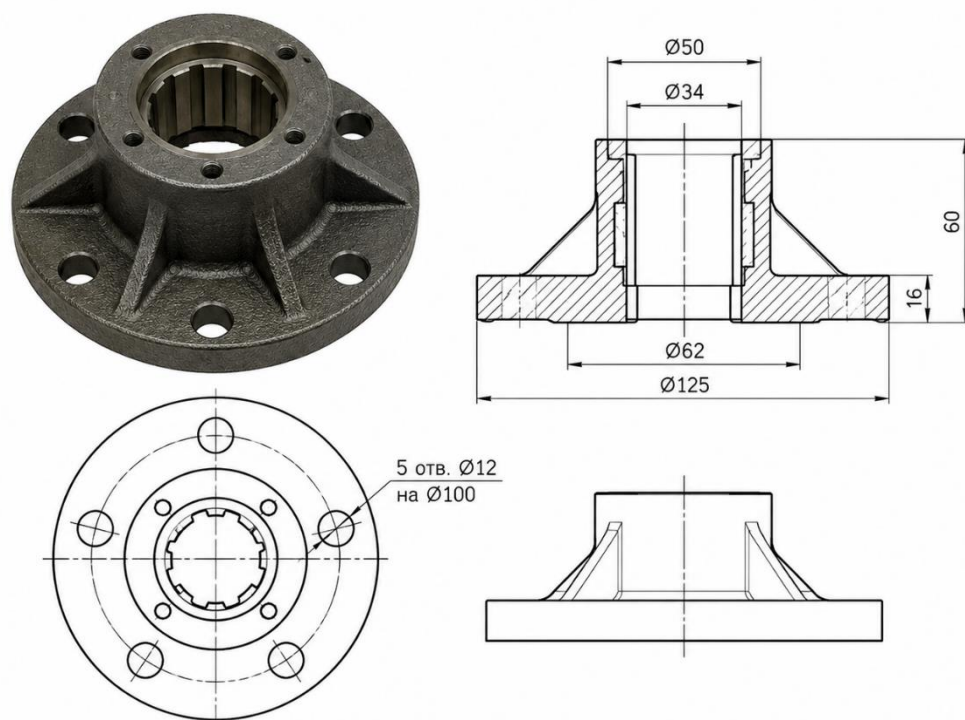


Рисунок 1.2 – Приклад конструктивного виконання ступиці з фланцем

Досліджувана деталь належить до класу фасонних осесиметричних деталей середньої складності та призначена для роботи у складі машинобудівних механізмів. Конструкція виробу складається з фланцевої частини зовнішнім діаметром 125 мм та центральної маточини, з'єднаних між собою системою ребер жорсткості. Таке конструктивне виконання забезпечує достатню жорсткість деталі при відносно невеликій масі.

Особливістю конструкції є наявність п'яти кріпильних отворів діаметром 12 мм, рівномірно розташованих по колу фланця. Подібне розташування забезпечує рівномірний розподіл навантажень під час роботи вузла та сприяє підвищенню надійності кріплення. Центральна частина деталі містить ступінчастий отвір, який використовується для встановлення та базування на валу або іншому елементі механізму.

Аналіз креслення показує, що конструкція деталі містить як зовнішні, так і внутрішні поверхні, які потребують формування за допомогою стрижнів. Внутрішня порожнина має відносно просту геометрію, що дозволяє застосувати один стрижень без використання складних збірних конструкцій. При цьому деталь не містить замкнених порожнин або важкодоступних зон, які могли б значно ускладнити виготовлення ливарної форми.

Важливою особливістю конструкції є наявність центральних посадкових поверхонь, до яких висуваються підвищені вимоги щодо точності розмірів та шорсткості поверхні. У зв'язку з цим під час проектування вилівка необхідно передбачити припуски на подальшу механічну обробку.

Конструкція характеризується достатньо рівномірним розподілом товщин стінок і наявністю плавних переходів між окремими елементами. Використання галтелей дозволяє зменшити концентрацію напружень та покращити умови тверднення металу в процесі охолодження відливка. Симетричне розташування основних конструктивних елементів позитивно впливає на умови заповнення форми розплавом та сприяє рівномірній кристалізації металу.

З точки зору ливарної технології конструкцію деталі можна вважати технологічною. Більшість поверхонь мають вільний вихід із форми, що дозволяє застосувати просту площину рознімання та спростити конструкцію модельного

комплекту. Відсутність різких змін перерізів і значних місцевих потовщень знижує ймовірність утворення усадкових дефектів, тріщин та внутрішніх напружень.

Габаритні розміри деталі, конфігурація поверхонь та вимоги до точності виготовлення дозволяють ефективно використовувати для її виробництва лиття в піщано-глинисті форми. Такий спосіб забезпечує необхідну якість відливка, економічну доцільність виробництва та можливість отримання виробів із заданими експлуатаційними характеристиками.

Таким чином, проведений аналіз показав, що деталь «Ступиця з фланцем» є технологічною для виготовлення методом лиття у піщано-глинисті форми. Її конструкція дозволяє застосувати раціональну схему формування, забезпечити надійне встановлення стрижнів та створити ефективну ливниково-живильну систему, що є необхідною умовою отримання якісного вилівка.

1.3 Аналіз матеріалу СЧ-20 та оцінка технологічності конструкції

Матеріал деталі є одним із основних факторів, що визначає її експлуатаційні властивості, довговічність, технологічність виготовлення та економічну ефективність виробництва. Для виготовлення деталі «Ступиця з фланцем» обрано сірий чавун марки СЧ20, який широко використовується для виробництва фасонних виливків машинобудівного призначення. Завдяки поєднанню достатньої міцності, високих ливарних властивостей та добрих демпфувальних характеристик цей матеріал є одним із найбільш поширених у ливарному виробництві.

Сірий чавун СЧ20 належить до групи чавунів із пластинчастою формою графіту. Наявність графітових включень забезпечує матеріалу високу здатність до поглинання вібрацій, добру оброблюваність різанням та низьку чутливість до концентрації напружень. Характерною особливістю сірого чавуну СЧ20 є наявність пластинчастого графіту, рівномірно розподіленого в металевій основі. Така структура забезпечує матеріалу добрі ливарні властивості, високу

вібропоглинальну здатність та задовільну оброблюваність різанням. Типова мікроструктура сірого чавуну наведена на рис. 1.3.

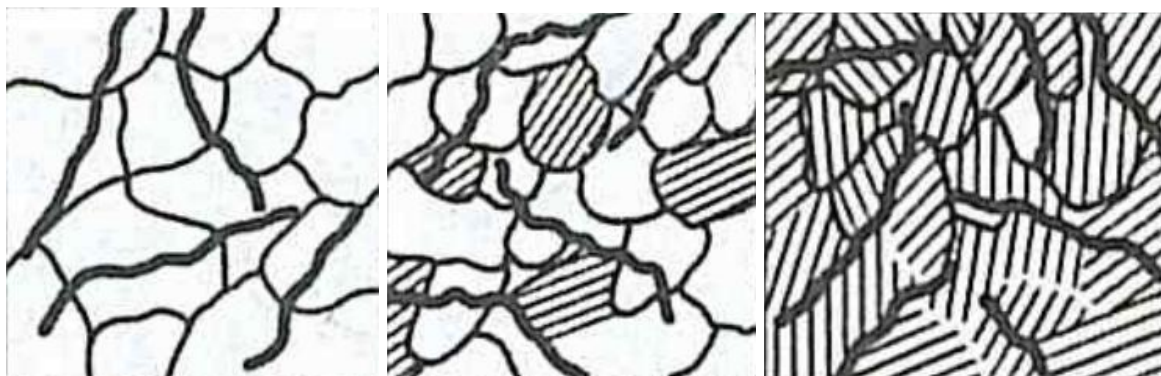


Рисунок 1.3 – Схематичне зображення структури металевої основи у сірих чавунах: *a* – феритна ; *б* - ферито-перлітна ; *в* – перлітна

У феритних сірих чавунах (рис. 1.3, а) металева основа представлена переважно феритом, у якому розташовані пластинчасті включення графіту. Така структура характеризується відносно невисокою міцністю і твердістю, проте забезпечує підвищену пластичність та добру оброблюваність різанням.

Ферито-перлітна структура (рис. 1.3, б) є найбільш поширеною для конструкційних сірих чавунів. У цьому випадку металева основа складається з фериту та перліту, що дозволяє поєднати достатню міцність із задовільною пластичністю. Такі чавуни характеризуються збалансованим комплексом механічних і технологічних властивостей та широко використовуються для виготовлення деталей машинобудівного призначення.

Перлітна структура (рис. 1.3, в) складається переважно з перліту та містить пластинчастий графіт, розташований між перлітними колоніями. Перлітні чавуни мають підвищену міцність, твердість і зносостійкість, однак характеризуються меншою пластичністю порівняно з феритними та ферито-перлітними різновидами.

Для сірого чавуну марки СЧ20 характерною є переважно ферито-перлітна структура металевої основи, яка забезпечує необхідне поєднання міцності, технологічності та експлуатаційної надійності. Наявність пластинчастого графіту сприяє підвищенню демпфувальної здатності матеріалу, зменшенню чутливості до вібраційних навантажень та покращенню оброблюваності різанням.

Саме комплекс зазначених властивостей обумовлює широке використання сірого чавуну СЧ20 для виготовлення фасонних виливків, зокрема деталі «Ступиця з фланцем», яка працює в умовах дії статичних і змінних навантажень та потребує достатньої міцності, жорсткості й стабільності геометричних параметрів.

Крім того, пластинчастий графіт позитивно впливає на антифрикційні властивості матеріалу, що є важливим для деталей машинобудівного обладнання. Хімічний склад сірого чавуну СЧ20 наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сірого чавуну СЧ20

Елемент	C	Si	Mn	P	S
Вміст, %	3,2–3,6	1,4–2,4	0,5–1,0	≤0,30	≤0,15

Вуглець і кремній є основними графітизуючими елементами, які забезпечують формування структури сірого чавуну та його високі ливарні властивості. Марганець підвищує міцність металевої основи та сприяє отриманню дрібнозернистої структури. Вміст фосфору і сірки обмежують, оскільки їх надлишок негативно впливає на механічні властивості та може спричинити утворення дефектів у відливках. Основні механічні властивості сірого чавуну СЧ20 наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сірого чавуну СЧ20

Показник	Значення
Тимчасовий опір розриву σ_b , МПа	не менше 200
Межа міцності при згині, МПа	350–400
Твердість HB	170–230
Густина, кг/м ³	7000–7300
Модуль пружності, ГПа	90–120

Незважаючи на нижчі показники міцності порівняно з високоміцними чавунами, СЧ20 забезпечує достатній рівень механічних властивостей для більшості корпусних і фланцевих деталей машинобудування. Важливою перевагою матеріалу є висока вібропоглинальна здатність, що сприяє зменшенню динамічних навантажень на вузли машин та підвищує надійність їх роботи.

Для ливарного виробництва особливе значення мають технологічні властивості матеріалу. Сірий чавун СЧ20 характеризується високою рідкотекучістю, незначною усадкою та доброю здатністю до заповнення складних порожнин форми. Це дозволяє отримувати фасонні відливки складної конфігурації без суттєвого ризику виникнення усадкових раковин, недоливів і гарячих тріщин. Крім того, матеріал добре піддається механічній обробці, що забезпечує отримання необхідної точності посадкових і приєднувальних поверхонь.

Конструкція деталі «Ступиця з фланцем» загалом відповідає основним вимогам технологічності для виготовлення методом лиття. Деталь має осесиметричну форму, що спрощує процес формування та забезпечує рівномірне заповнення порожнини форми металом. Конструкція складається з фланця, центральної маточини та ребер жорсткості, які забезпечують необхідну міцність і жорсткість виробу.

Наявність п'яти кріпильних отворів та внутрішньої центральної порожнини потребує застосування стрижнів і подальшої механічної обробки відповідальних поверхонь. Водночас конструкція не містить важкодоступних порожнин, піднутрень або складних елементів, які суттєво ускладнювали б виготовлення ливарної форми. Плавні переходи між окремими елементами конструкції та наявність галтелей сприяють зменшенню концентрації напружень і покращують умови тверднення металу.

З точки зору ливарної технології деталь є достатньо технологічною для виготовлення в піщано-глинистих формах. Конструктивне виконання дозволяє застосувати просту площину рознімання, забезпечити надійне встановлення стрижнів та створити ефективну ливниково-живильну систему. Це створює сприятливі умови для отримання якісного відливка з мінімальною кількістю дефектів і раціональними витратами на виробництво.

Отже, аналіз властивостей сірого чавуну СЧ20 та конструктивних особливостей деталі показав, що обраний матеріал повністю відповідає умовам експлуатації ступиці з фланцем, а конструкція виробу є технологічною для виготовлення методом лиття у піщано-глинисті форми.

Висновки до розділу 1

У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз призначення, умов експлуатації, конструктивних особливостей та матеріалу деталі «Ступиця з фланцем».

Встановлено, що деталь належить до відповідальних елементів машинобудівних конструкцій і призначена для передавання навантажень та забезпечення надійного з'єднання окремих вузлів механізмів. У процесі експлуатації ступиця з фланцем сприймає статичні та динамічні навантаження, що обумовлює підвищені вимоги до її міцності, жорсткості та довговічності.

Аналіз конструкції показав, що деталь має осесиметричну форму та складається з фланця, центральної маточини, ребер жорсткості та системи кріпильних отворів. Конструкція характеризується достатньою технологічністю, відсутністю складних піднутрень і можливістю формування внутрішніх поверхонь за допомогою стрижнів.

Для виготовлення деталі обрано сірий чавун марки СЧ20, який характеризується добрими ливарними властивостями, високою рідкотекучістю, достатньою міцністю, демпфувальною здатністю та доброю оброблюваністю різанням. Аналіз структури та властивостей матеріалу підтвердив доцільність його використання для виготовлення деталі даного призначення.

Проведена оцінка технологічності конструкції показала, що деталь придатна для виготовлення методом лиття у піщано-глинисті форми. Конструктивні особливості виробу дозволяють застосувати просту схему формування, забезпечити надійне встановлення стрижнів та створити ефективну ливниково-живильну систему.

Отже, результати виконаного аналізу підтверджують можливість виготовлення вилівка «Ступиця з фланцем» із сірого чавуну СЧ20 методом лиття у піщано-глинисті форми та є підставою для подальшого розроблення технологічного процесу його виробництва.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДЛИВКА

2.1 Аналіз конструкції відливка та технічних вимог

Виливок «Ступиця з фланцем» належить до фасонних чавунних виливків середньої складності та виготовляється із сірого чавуну марки СЧ20 відповідно до вимог чинних стандартів. Відливок призначений для подальшої механічної обробки та використання у складі вузлів сільськогосподарських машин, де виконує функції передавання навантажень і забезпечення надійного з'єднання окремих елементів конструкції.

До виливка висуваються вимоги щодо забезпечення необхідних механічних властивостей, геометричної точності та якості поверхні. На поверхні відливка не допускаються тріщини, холодні спаї, пригар, газові раковини та інші дефекти, які можуть знизити міцність або погіршити експлуатаційні характеристики деталі. Після очищення поверхня відливка повинна бути вільною від залишків формувальної суміші та продуктів термічного впливу.

Матеріал відливка повинен відповідати вимогам до сірого чавуну СЧ20 та забезпечувати твердість у межах 131–157 НВ. Структура металу повинна характеризуватися рівномірним розподілом пластинчастого графіту в перлітно-феритній металевій основі, що забезпечує необхідне поєднання міцності, зносостійкості та добрих технологічних властивостей. Загальний вигляд відливка наведено на рис. 2.1.

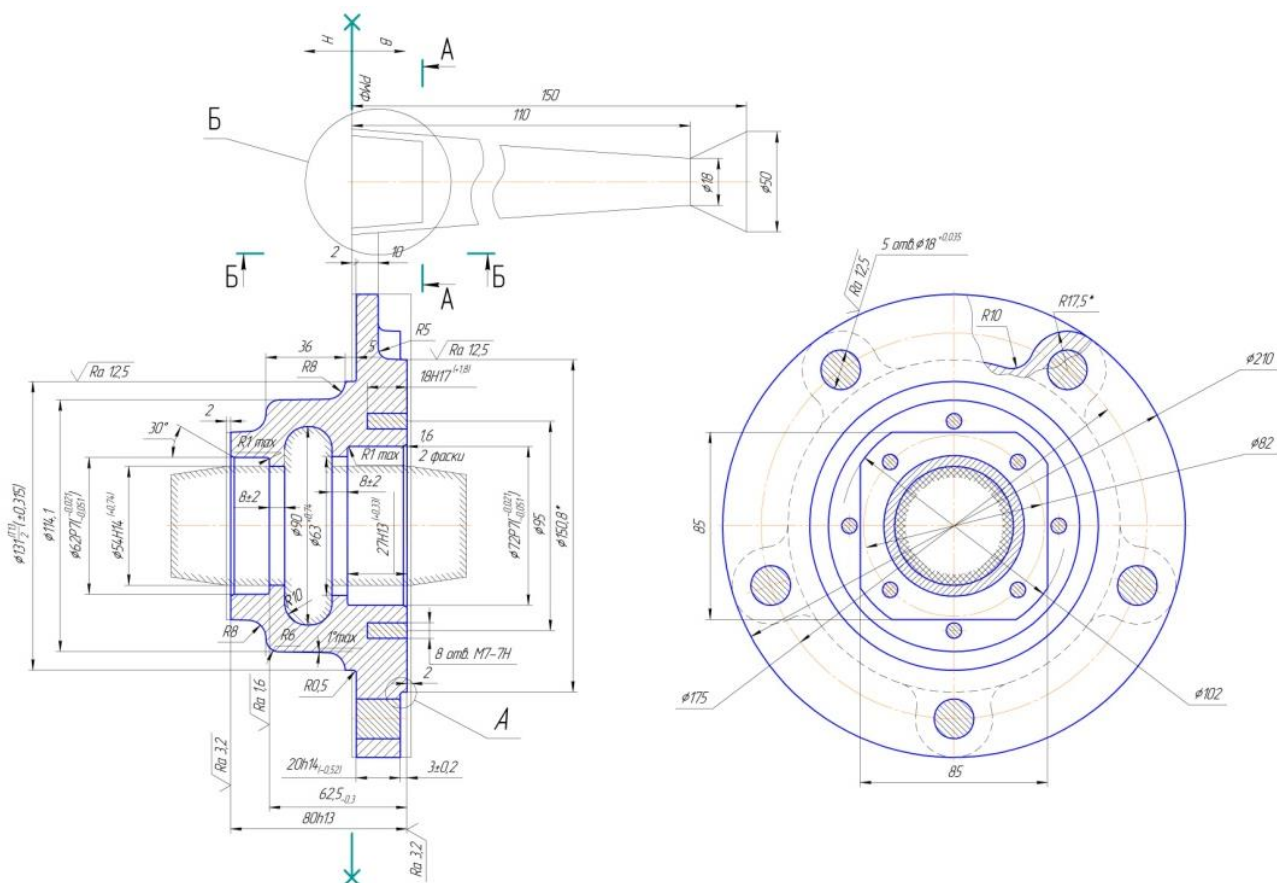


Рисунок 2.1 – Виливок «Ступиця з фланцем»

Деталь являє собою ступицю з розвиненою фланцевою частиною та центральною маточиною. Конструкція містить фланець зовнішнім діаметром 125 мм, центральну циліндричну частину, ребра жорсткості та систему кріпильних отворів. Габаритні розміри деталі становлять приблизно 125×125×60 мм. Маса готової деталі складає близько 2 кг.

Основними поверхнями, що підлягають механічній обробці, є центральний посадковий отвір, торцеві базові поверхні та окремі посадкові елементи маточини. Решта поверхонь формується безпосередньо під час лиття та не потребує подальшої механічної обробки. Такий підхід дозволяє зменшити трудомісткість виготовлення та підвищити коефіцієнт використання металу.

Конструкція відливка є достатньо технологічною для виготовлення методом лиття у піщано-глинисті форми. Зовнішній контур утворений переважно циліндричними та плоскими поверхнями, з'єднаними плавними переходами і галтелями. Відсутність різких змін товщини стінок сприяє більш рівномірному охолодженню металу та знижує ймовірність виникнення усадкових дефектів і внутрішніх напружень.

Для формування внутрішньої центральної порожнини передбачається використання стрижня. Конструкція деталі не містить складних піднутрень та не потребує застосування знімних частин модельного оснащення. Це дозволяє використовувати просту площину рознімання моделі та форми, що значно спрощує виготовлення ливарної оснастки і складання форми.

Симетричне розташування основних конструктивних елементів створює сприятливі умови для рівномірного заповнення форми рідким металом та подальшої кристалізації виливка. Наявність ребер жорсткості забезпечує необхідну міцність конструкції без значного збільшення маси виробу.

Проведений аналіз показав, що конструкція виливка «Ступиця з фланцем» відповідає основним вимогам ливарної технологічності та може бути ефективно реалізована методом лиття у піщано-глинисті форми. Конфігурація деталі створює сприятливі умови для подальшого проектування технологічного процесу, вибору площини рознімання форми та розрахунку ливниково-живильної системи.

2.2 Вибір способу виготовлення відливка

Вибір способу виготовлення виливка здійснюється з урахуванням конструкції деталі, марки сплаву, вимог до точності, якості поверхні, обсягу виробництва та економічної доцільності застосування технологічного процесу.

Виливок «Ступиця з фланцем» виготовляється із сірого чавуну марки СЧ20 та належить до фасонних відливоків середньої складності. Конструкція деталі характеризується наявністю фланцевої частини, центральної маточини, ребер жорсткості, кріпильних отворів і внутрішньої порожнини, що потребує використання стрижня під час формування. До відливка висуваються вимоги щодо забезпечення необхідної точності розмірів, якості поверхні та механічних властивостей матеріалу.

Для виготовлення даного відливка можуть бути використані різні способи лиття: лиття в кокіль, лиття за виплавленими моделями, лиття в оболонкові форми та лиття в піщано-глинисті форми. Проте з урахуванням матеріалу

виливка, його маси, конструктивних особливостей та умов виробництва найбільш доцільним є застосування лиття в піщано-глинисті форми.

Основними перевагами цього способу є відносна простота технологічного процесу, невисока вартість оснащення, можливість виготовлення відливок складної конфігурації та забезпечення необхідної якості виробів із сірого чавуну. Крім того, лиття в піщано-глинисті форми дозволяє використовувати стрижні для формування внутрішніх поверхонь і забезпечує отримання відливок з достатньою точністю для подальшої механічної обробки.

Для виготовлення ливарних форм доцільно застосовувати машинне формування, яке забезпечує стабільність параметрів технологічного процесу, рівномірне ущільнення формувальної суміші та підвищення продуктивності праці. Машинне формування дозволяє покращити якість поверхні відливок, зменшити кількість браку та забезпечити повторюваність геометричних параметрів виробів.

Для оформлення внутрішньої центральної порожнини виливка передбачається використання стрижня, виготовленого із стрижневої суміші, що забезпечує необхідну точність формування внутрішніх поверхонь. Використання стрижня дозволяє отримати внутрішні елементи конструкції без додаткових технологічних операцій та зменшити обсяг механічної обробки.

З урахуванням конструкції деталі, властивостей сірого чавуну СЧ20, вимог до якості виливка та умов виробництва для виготовлення деталі «Ступиця з фланцем» прийнято спосіб лиття в піщано-глинисті форми з використанням машинного формування та стрижневого оснащення.

Обраний спосіб забезпечує отримання якісного виливка з необхідними геометричними параметрами, достатньою точністю та раціональними витратами на виробництво, що робить його найбільш доцільним для виготовлення даної деталі.

2.3 Вибір положення відливка у формі та площини роз'єму

Правильне визначення положення виливка у формі та вибір площини рознімання належать до основних етапів проектування технології лиття. Від прийнятого рішення залежать умови заповнення порожнини форми розплавленим металом, характер його кристалізації та охолодження, можливість раціонального розміщення ливниково-живильної системи, зручність формування й складання форми, а також загальна технологічність процесу виготовлення виливка.

Під час вибору положення виливка необхідно забезпечити отримання якісних поверхонь, мінімізувати ймовірність утворення ливарних дефектів, спростити конструкцію модельного комплексу та створити умови для надійного встановлення стрижнів. Крім того, важливим фактором є можливість застосування простої площини рознімання, що дозволяє зменшити трудомісткість виготовлення форми та підвищити точність отриманого виливка.

Для деталі «Ступиця з фланцем» прийнято горизонтальне положення у формі, при якому вісь виливка розташована вертикально. Таке розташування забезпечує рівномірне заповнення форми металом, сприяє спрямованому твердненню відливка та створює сприятливі умови для формування центральної порожнини за допомогою стрижня. Крім того, обране положення дозволяє розмістити площину рознімання по найбільшій площині симетрії деталі та спростити процес виготовлення ливарної форми. Схему розташування виливка у формі наведено на рис. 2.2.

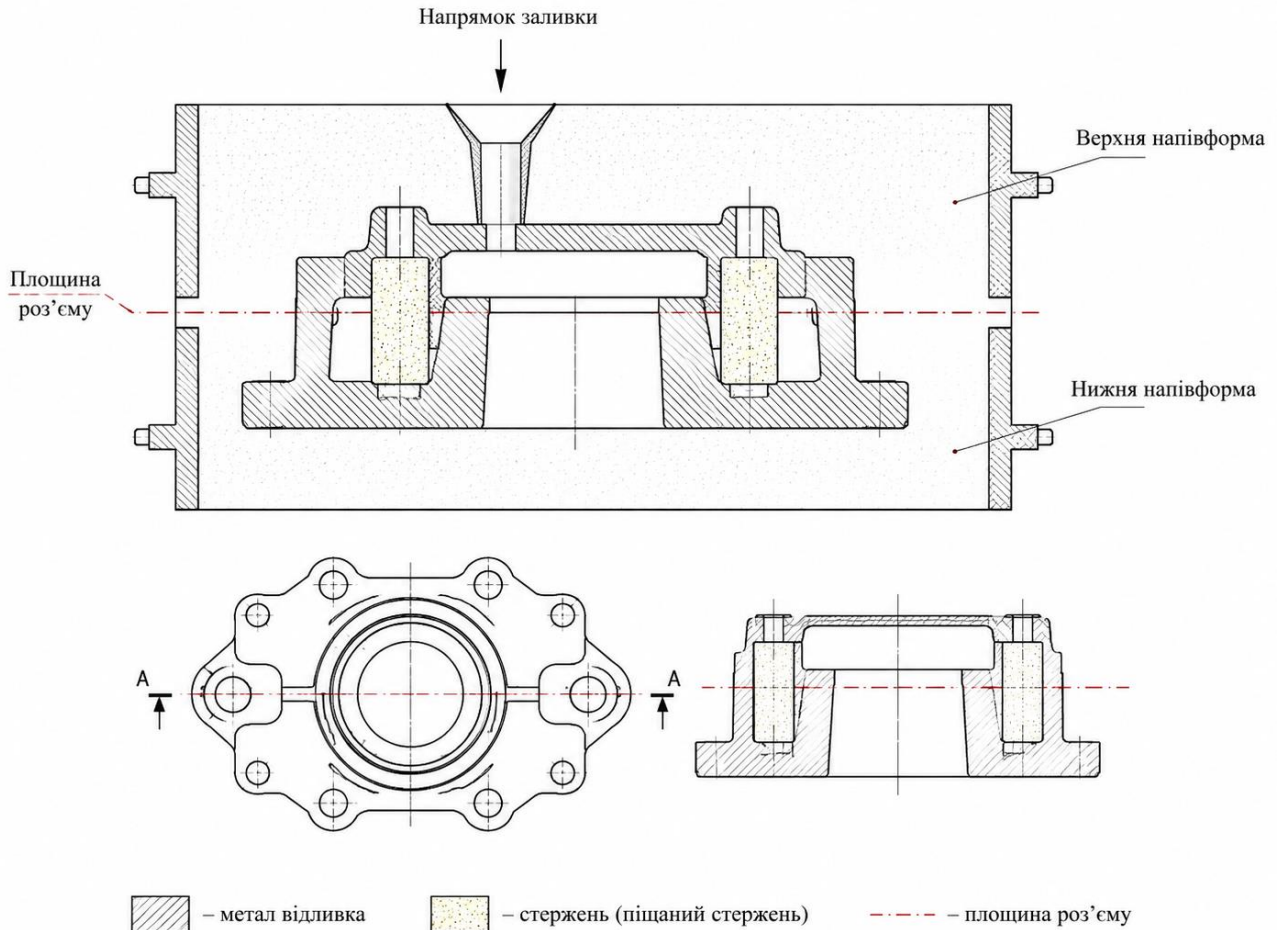


Рисунок 2.2 – Положення відливка у формі та площина роз'єму

Під час вибору положення виливка у формі особливу увагу приділяли розташуванню поверхонь, що в подальшому підлягають механічній обробці. Для забезпечення високої якості металу та мінімізації ймовірності виникнення ливарних дефектів відповідальні поверхні деталі розміщують у нижній або бічній частині форми. Таке рішення дозволяє знизити ризик утворення газових раковин, шлакових включень та інших дефектів, які зазвичай концентруються у верхніх зонах виливка під час кристалізації розплаву.

Для деталі «Ступиця з фланцем» площину рознімання форми прийнято горизонтальною. Вона проходить через найбільший поперечний переріз деталі, що забезпечує простоту виготовлення модельного комплекту та формувальної оснастки. Обране рішення дозволяє використовувати двоопочне формування без застосування складних конструктивних елементів і сприяє підвищенню точності отриманого виливка.

Горизонтальна площина рознімання забезпечує раціональний розподіл елементів деталі між верхньою та нижньою напівформами. Завдяки цьому спрощується процес формування, полегшується складання форми та створюються умови для надійного встановлення центрального стрижня, призначеного для формування внутрішньої порожнини маточини.

Важливою перевагою обраного варіанта є можливість вільного вилучення моделі з форми без пошкодження формувальної суміші. Осесиметрична конструкція деталі та відсутність складних піднутрень дозволяють уникнути застосування знімних частин моделі, що зменшує складність оснащення та знижує витрати на його виготовлення.

Прийняте положення виливка також забезпечує рівномірне ущільнення формувальної суміші навколо моделі, що позитивно впливає на якість поверхні та точність геометричних параметрів готового виробу. Симетрична форма деталі створює сприятливі умови для рівномірного заповнення форми металом і подальшого спрямованого тверднення виливка.

Отже, прийняте горизонтальне положення виливка та горизонтальна площина рознімання повністю відповідають конструктивним особливостям деталі «Ступиця з фланцем», забезпечують технологічність процесу формування, зручність складання форми та створюють необхідні умови для отримання якісного виливка із сірого чавуну СЧ20.

2.4 Вибір припусків, формувальних ухилів і стержнів

Для забезпечення необхідної точності геометричних параметрів деталі та можливості подальшої механічної обробки під час проєктування виливка необхідно призначити припуски на механічну обробку, формувальні ухили та визначити конструкцію стрижневого оснащення.

Припуски на механічну обробку встановлюють відповідно до вимог нормативної документації з урахуванням матеріалу виливка, його габаритних розмірів, класу точності та характеру оброблюваних поверхонь. Оскільки виливок «Ступиця з фланцем» виготовляється із сірого чавуну СЧ20 литтям у

піщано-глинисті форми, для оброблюваних поверхонь приймаються припуски в межах 3–4 мм, що забезпечують видалення поверхневого шару металу та отримання необхідної точності після механічної обробки.

Основними поверхнями, які підлягають механічній обробці, є центральний посадковий отвір, торцеві базові поверхні маточини та поверхні, що використовуються для встановлення і центрування деталі у вузлі. Призначені припуски забезпечують компенсацію можливих відхилень, що виникають під час лиття, а також дозволяють отримати необхідну якість поверхні готового виробу.

Для забезпечення безперешкодного вилучення моделі з форми на вертикальних поверхнях передбачаються формувальні ухили. Їх наявність запобігає руйнуванню форми під час видалення модельного комплексу та сприяє підвищенню точності вилівка. Для зовнішніх поверхонь приймаються ухили 1–1,5°, а для внутрішніх поверхонь – 1,5–2°.

Конструкція деталі містить центральну внутрішню порожнину, формування якої неможливо забезпечити лише за допомогою моделі. Тому для її отримання передбачається використання стрижня. Конфігурація стрижня визначається геометрією внутрішнього отвору маточини та забезпечує формування внутрішньої поверхні необхідних розмірів і форми.

Установлення стрижня здійснюється за допомогою стрижневих знаків, передбачених конструкцією модельного комплексу. Таке рішення забезпечує його надійне фіксування у формі та необхідну точність розташування під час складання форми і заливання металу.

Для виготовлення стрижнів доцільно використовувати холоднотвердіючі суміші, які забезпечують достатню міцність, газопроникність та точність геометричних параметрів. Застосування таких сумішей дозволяє підвищити якість внутрішніх поверхонь вилівка та знизити ймовірність виникнення дефектів, пов'язаних із руйнуванням стрижня під час заливання.

Отже, прийняті припуски на механічну обробку, формувальні ухили та конструкція стрижневого оснащення відповідають конструктивним

особливостям деталі «Ступиця з фланцем» і забезпечують отримання якісного виливка з необхідною точністю та експлуатаційними характеристиками.

2.5 Розрахунок ливниково-живильної системи

Ливниково-живильна система є одним із найважливіших елементів технологічного процесу виготовлення виливків, оскільки забезпечує транспортування розплавленого металу до порожнини форми, створює умови для її повного заповнення та впливає на якість готового виробу. Раціонально спроектована ливниково-живильна система повинна забезпечувати плавне надходження металу до форми, мінімізувати турбулентність потоку, запобігати захопленню повітря та сприяти затриманню неметалевих включень.

Для виготовлення виливка «Ступиця з фланцем» із сірого чавуну СЧ20 прийнято ливникову систему з нижнім підведенням металу. Така схема забезпечує спокійне та рівномірне заповнення порожнини форми, знижує інтенсивність окиснення металу під час заливання та сприяє отриманню щільної структури виливка. Крім того, нижнє підведення металу дозволяє зменшити ймовірність утворення газових і шлакових дефектів, що особливо важливо для відповідальних ділянок деталі.

Конструкція ливникової системи включає ливникову чашу, стояк, шлаковловлювач та живильники, через які метал надходить безпосередньо до порожнини форми. Розміщення елементів системи вибрано з урахуванням конфігурації виливка, його маси та необхідності забезпечення рівномірного заповнення форми по всьому об'єму.

Під час проєктування ливниково-живильної системи необхідно забезпечити оптимальну швидкість руху металу та сприятливі умови для його кристалізації. Для цього виконується розрахунок площ поперечних перерізів стояка, шлаковловлювача та живильників, які визначаються залежно від маси виливка, властивостей сплаву та прийнятого часу заливання.

Розрахунок ливниково-живильної системи виконують на основі маси металу, що заливається у форму, та технологічних параметрів процесу.

Основними розрахунковими характеристиками є сумарна площа живильників, площа шлаковловлювача та площа стояка, які забезпечують необхідний режим заповнення форми розплавленим металом.

Загальна площа живильників визначається за розрахунковою залежністю:

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

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.

Наступним етапом розрахунку ливниково-живильної системи є визначення середнього металостатичного напору, який безпосередньо впливає на швидкість руху розплавленого металу в каналах ливникової системи та характер заповнення порожнини форми. Величина металостатичного напору залежить від положення виливка у формі, висоти стояка та геометричних розмірів відливка.

Правильне визначення середнього металостатичного напору дозволяє обґрунтовано вибрати площі поперечних перерізів елементів ливниково-живильної системи, забезпечити рівномірне заповнення форми та уникнути виникнення дефектів, пов'язаних із надмірною швидкістю або недостатнім надходженням металу до окремих ділянок виливка.

Для виливка «Ступиця з фланцем» середній металостатичний напір визначають з урахуванням висоти стовпа рідкого металу над розрахунковим перерізом та висоти виливка. Розрахунок виконують за такою залежністю:

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

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.

$$H_p = 140 - \frac{40^2}{80} = 120 \text{ мм} = 12 \text{ см}$$

$$\sum F_{жс} = \frac{2,6 \cdot 1000}{0,5 \cdot 4,2 \cdot 7,2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 12}} = 11,2 \text{ см}^2$$

Після визначення сумарної площі живильників виконують розрахунок площі поперечного перерізу шлаковловлювача. Наявність шлаковловлювача в ливниково-живильній системі забезпечує затримання неметалевих включень, частинок шлаку та продуктів окиснення металу, що сприяє підвищенню якості вилівка та зменшенню ймовірності виникнення внутрішніх дефектів.

Для вилівка «Ступиця з фланцем» прийнято шлаковловлювач трапецієподібного перерізу, який добре узгоджується з конструкцією піщано-глинистої форми та забезпечує стабільний рух металу під час заливання. Така форма поперечного перерізу є технологічною у виготовленні та дозволяє ефективно відокремлювати шлакові включення від основного потоку розплаву.

Площу поперечного перерізу шлаковловлювача визначають із прийнятого співвідношення елементів ливникової системи. Для чавунних вилівок при нижньому підведенні металу площа шлаковловлювача, як правило, перевищує сумарну площу живильників, що забезпечує зменшення швидкості потоку та створює сприятливі умови для осадження неметалевих включень.

Розрахунок площі поперечного перерізу шлаковловлювача виконують за формулою:

$$\sum F_{\text{жзгзг}} : \sum F_{\text{ш}} : \sum F_{\text{ст}} = 1:1,15:1,2 \quad (2.3)$$
$$\sum F_{\text{ш}} = \sum F_{\text{жзгзг}} \cdot 1,15 = 12 \cdot 1,15 = 13,8 \text{ см}^2$$

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

Конструкція стояка повинна забезпечувати стійкий рух потоку металу без надмірної турбулентності та запобігати утворенню завихрень, які можуть спричинити захоплення повітря і неметалевих включень. Правильно вибрані розміри стояка забезпечують необхідну швидкість руху металу та створюють сприятливі умови для якісного заповнення форми.

Для вилівка «Ступиця з фланцем» площу поперечного перерізу стояка визначають на основі прийнятого співвідношення елементів ливникової

системи. При нижньому підведенні металу для чавунних виливків площа стояка, як правило, є найменшою серед основних елементів ливникової системи, що забезпечує необхідний режим руху розплаву.

Площу поперечного перерізу стояка визначають за формулою:

$$F_{cm} = \sum F_{ui} \cdot 1,2 \quad (2.4)$$

$$F_{cm} = 3,42 \cdot 1,2 = 4,1 \text{ см}^2$$

Оскільки:

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

Діаметр стояка:

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

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{8 \cdot 4,1}{3,14}} = 3,23 \text{ см}$$

Із технологічних міркувань приймаємо $d = 35$ мм.

Завершальним етапом розрахунку ливниково-живильної системи є визначення геометричних параметрів ливникової чаші. Ливникова чаша виконує функцію приймання розплавленого металу з ковша та його подавання до стояка. Її використання забезпечує більш рівномірний рух металу в ливниковій системі, зменшує турбулентність потоку та сприяє затриманню шлакових включень і неметалевих домішок.

Правильно спроектована ливникова чаша створює необхідний запас металу перед входом у стояк, забезпечує безперервність процесу заливання та запобігає утворенню воронки, яка може призвести до захоплення повітря потоком металу. Це особливо важливо під час виготовлення виливків із сірого чавуну, оскільки дозволяє покращити якість металу та зменшити ймовірність виникнення газових дефектів.

Розміри ливникової чаші вибирають з урахуванням маси виливка, продуктивності заливання та розмірів стояка. Для виливка «Ступиця з фланцем» діаметр ливникової чаші визначають за розрахунковою залежністю:

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

$$D = 3 \cdot 35 = 105 \text{ мм}$$

Таким чином, у результаті виконаного розрахунку ливниково-живильної системи визначено раціональні розміри її основних елементів: живильників, шлаковловлювача, стояка та ливникової чаші. Прийнята конструкція системи з нижнім підведенням металу забезпечує рівномірне та спокійне заповнення порожнини форми, сприяє ефективному відокремленню неметалевих включень і створює сприятливі умови для спрямованого тверднення металу.

Запроектована ливниково-живильна система відповідає конструктивним особливостям виливка «Ступиця з фланцем» та властивостям сірого чавуну СЧ20. Її застосування дозволяє зменшити ймовірність виникнення газових раковин, шлакових включень, недоливів та інших ливарних дефектів, забезпечуючи отримання якісного виливка з необхідними геометричними параметрами та експлуатаційними характеристиками.

Висновки до розділу 2

У другому розділі кваліфікаційної роботи розроблено основні технологічні рішення щодо виготовлення виливка «Ступиця з фланцем» із сірого чавуну СЧ20.

На основі аналізу конструкції виливка та технічних вимог встановлено, що деталь є технологічною для виготовлення методом лиття та характеризується достатньо простою конфігурацією, наявністю центральної внутрішньої порожнини, фланцевої частини та ребер жорсткості. Визначено основні поверхні, які підлягають механічній обробці, та встановлено вимоги до якості готового виробу.

Обґрунтовано вибір способу виготовлення виливка методом лиття у піщано-глинисті форми з використанням машинного формування. Обраний

спосіб забезпечує необхідну точність, якість поверхні та економічну доцільність виробництва.

Виконано вибір положення виливка у формі та площини рознімання. Прийняте горизонтальне положення виливка і горизонтальна площина розніму забезпечують зручність формування, надійне встановлення стрижня, вільне вилучення моделі з форми та сприятливі умови для рівномірного заповнення порожнини форми металом.

Призначено припуски на механічну обробку, формувальні ухили та визначено конструкцію стрижневого оснащення. Прийняті технологічні параметри забезпечують отримання виливка необхідної точності та створюють умови для подальшої механічної обробки відповідальних поверхонь деталі.

У результаті розрахунку ливниково-живильної системи визначено раціональні розміри її основних елементів. Запроєктована система забезпечує плавне надходження металу до порожнини форми, ефективне затримання шлакових включень та сприяє отриманню якісного виливка без усадкових, газових і шлакових дефектів.

Отже, виконані технологічні розробки підтверджують можливість виготовлення виливка «Ступиця з фланцем» із сірого чавуну СЧ20 у піщано-глинистих формах із забезпеченням необхідних технічних та експлуатаційних вимог, що є основою для подальшого проєктування ливарної форми та організації виробничого процесу.

РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВІДЛИВКА

3.1 Конструкція ливарної форми

Якість виливка значною мірою залежить від правильності проектування ливарної форми, оскільки саме вона забезпечує формування геометрії виробу, розміщення ливниково-живильної системи та створення умов для нормального перебігу процесів кристалізації і охолодження металу. Під час розроблення конструкції форми необхідно враховувати особливості конфігурації деталі, властивості сплаву, спосіб формування та вимоги до якості готового виливка.

Для виготовлення виливка «Ступиця з фланцем» застосовується різніма ливарна форма, що складається з верхньої та нижньої напівформ. Площина рознімання прийнята горизонтальною і проходить через найбільший поперечний переріз деталі. Таке компонування дозволяє спростити процес формування, забезпечити точність відтворення контурів моделі та полегшити складання форми перед заливанням металу.

Під час проектування форми виливок розміщено таким чином, щоб забезпечити рівномірний розподіл формувальної суміші навколо його поверхонь. Це створює необхідний запас міцності форми, запобігає її руйнуванню під впливом металостатичного тиску та сприяє збереженню геометричних розмірів виливка протягом усього циклу виготовлення.

Для формування внутрішньої порожнини маточини використовується центральний стрижень, який встановлюється у стрижневі знаки та фіксується під час складання форми. Таке рішення забезпечує точне відтворення внутрішньої конфігурації деталі та виключає зміщення стрижня під дією потоку рідкого металу.

У конструкції форми передбачено розміщення елементів ливниково-живильної системи, які забезпечують підведення розплаву до робочої порожнини та його рівномірний розподіл по об'єму виливка. Нижнє підведення

металу сприяє спокійному заповненню форми, зменшує інтенсивність окиснення розплаву та знижує ймовірність утворення шлакових і газових дефектів.

Завдяки осесиметричній конструкції деталі та відсутності складних піднутрень форма не потребує застосування рухомих або знімних елементів модельної оснастки. Це спрощує технологію виготовлення, зменшує трудомісткість формування та підвищує надійність виробничого процесу.

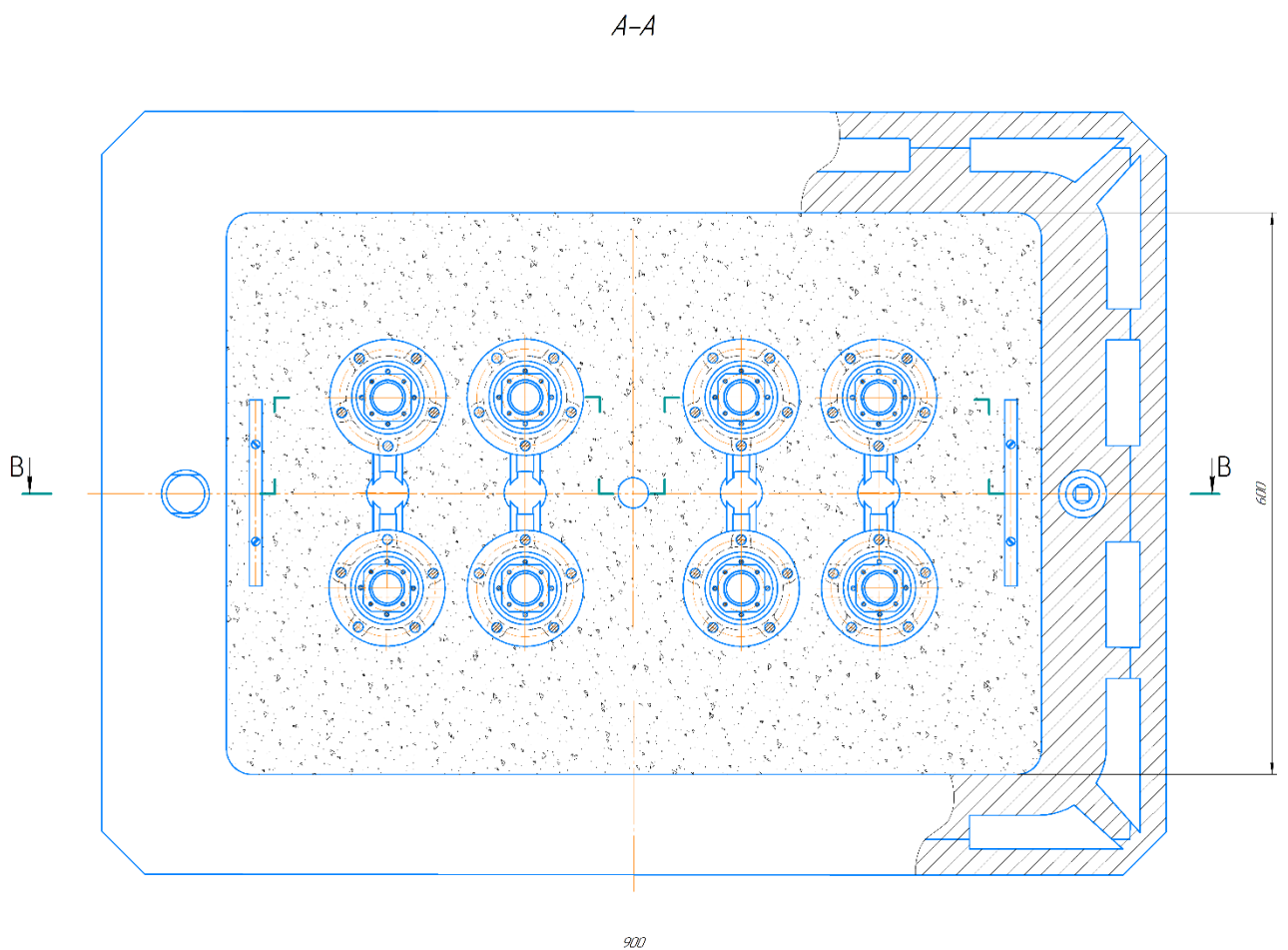
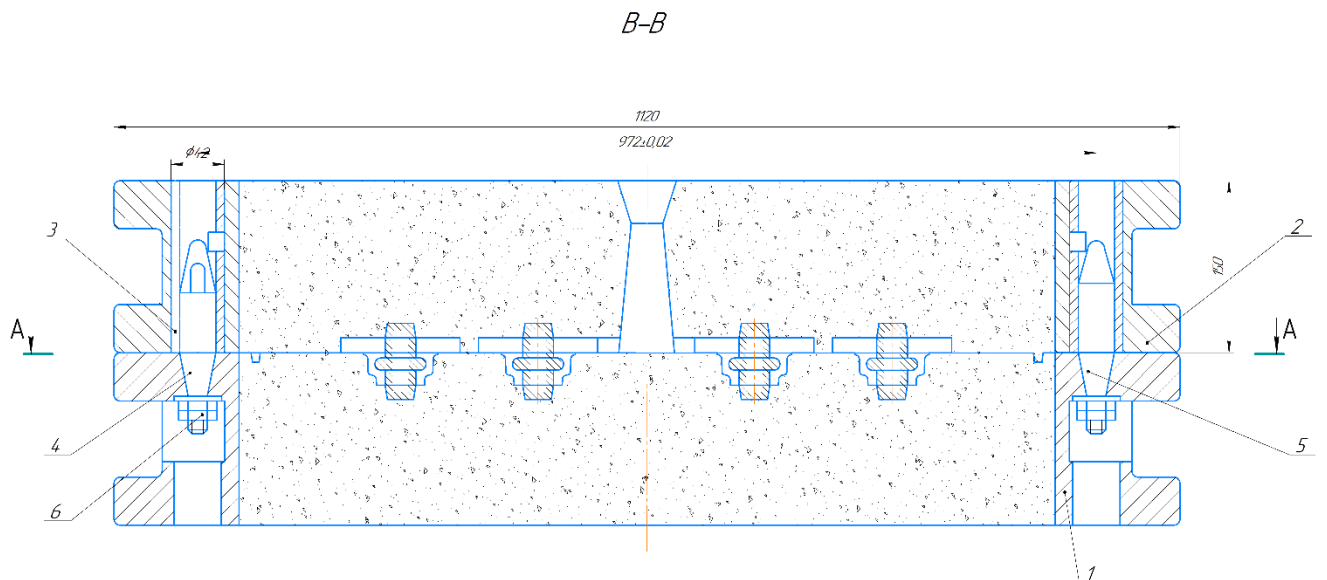
Запроєктована ливарна форма забезпечує формування всіх конструктивних елементів вилівка, надійне встановлення стрижня, зручність складання та необхідні умови для отримання якісного вилівка із сірого чавуну СЧ20. Загальний вигляд ливарної форми в зборі наведено на рис. 3.1.

Запроєктована ливарна форма складається з верхньої та нижньої напівформ, які після складання утворюють робочу порожнину вилівка. Площина рознімання проходить через найбільший поперечний переріз деталі, що забезпечує зручність формування, спрощує вилучення моделі з форми та підвищує точність відтворення геометрії вилівка.

Виливок у формі розташований таким чином, щоб забезпечити рівномірне заповнення порожнини розплавленим металом та сприятливі умови для його подальшого тверднення. Завдяки осесиметричній конструкції деталі забезпечується рівномірний розподіл металу в робочій порожнині форми та знижується ймовірність утворення внутрішніх дефектів.

Подача металу до порожнини форми здійснюється через ливниково-живильну систему, до складу якої входять ливникова чаша, стояк, шлаковловлювач та живильник. Прийнята схема нижнього підведення металу забезпечує плавне заповнення форми, сприяє затриманню шлакових включень і зменшує небезпеку утворення газових раковин та інших ливарних дефектів.

Для формування внутрішньої поверхні центральної маточини передбачено використання стрижня, який встановлюється у стрижневі знаки та надійно фіксується під час складання форми. Використання стрижня дозволяє отримати внутрішній отвір необхідної конфігурації без додаткових технологічних операцій.



1 - верхня опока; 2 - нижня опока; 3 - стержень; 4 - стояк; 5 - випор; 6 - штифт
 Рисунок 3.1 – Ливарна форма в зборі для виготовлення виливка «Ступиця з фланцем»

У верхній частині форми передбачено вентиляційні канали та випір, через які під час заливання видаляються повітря і гази, що утворюються в процесі контакту розплаву з формувальною сумішшю. Це покращує умови заповнення форми металом та сприяє підвищенню якості виливка.

Прийнята конструкція ливарної форми забезпечує надійне розташування всіх її елементів, зручність складання та розбирання, стабільність технологічного процесу й отримання якісного виливка «Ступиця з фланцем» із сірого чавуну СЧ20 відповідно до встановлених технічних вимог.

3.2 Складання форми та встановлення стержнів

Після завершення процесу виготовлення верхньої та нижньої напівформ виконують операцію складання ливарної форми. Від правильності виконання цієї операції значною мірою залежить точність геометричних параметрів виливка, якість його поверхні та відсутність дефектів, пов'язаних зі зміщенням окремих елементів форми.

Перед складанням проводять очищення площини рознімання від залишків формувальної суміші, перевіряють стан робочих поверхонь напівформ, а також контролюють цілісність ливникових каналів і вентиляційних елементів. Особливу увагу приділяють якості відбитків моделі та правильності оформлення стрижневих знаків.

Першою операцією складання є встановлення стрижня у відповідні гнізда нижньої напівформи. Стрижень призначений для формування внутрішньої поверхні маточини та забезпечення необхідної конфігурації центрального отвору виливка. Його розташування повинно точно відповідати проєктному положенню, передбаченому конструкцією форми.

Після встановлення стрижня виконують перевірку правильності його фіксації у стрижневих знаках. Надійне закріплення стрижня запобігає його зміщенню під дією потоку розплавленого металу та металостатичного тиску під час заливання форми. Крім того, контролюється співвісність стрижня відносно

осі майбутнього виливка, що є важливою умовою отримання необхідної точності внутрішніх поверхонь деталі.

Наступним етапом є встановлення верхньої напівформи на нижню. Суміщення напівформ здійснюється за допомогою центрувальних елементів опоки, які забезпечують точне взаємне розташування всіх частин форми. Після з'єднання напівформ утворюється замкнена робоча порожнина, що відповідає геометрії виливка «Ступиця з фланцем».

Після складання форми виконують остаточний контроль її готовності до заливання. Перевіряють правильність положення стрижня, якість стику напівформ, прохідність елементів ливниково-живильної системи та наявність вентиляційних каналів для відведення газів. За результатами контролю форма допускається до подальшої технологічної операції — заливання розплавленого чавуну.

Прийнята послідовність складання забезпечує точне формування всіх конструктивних елементів виливка, надійну фіксацію стрижня та створює необхідні умови для отримання якісної деталі без зміщень, перекосів і порушення геометричних розмірів.

3.3 Заливка, охолодження та вибивка відливків

Якість виливка значною мірою визначається правильністю виконання технологічних операцій заливання, охолодження та вибивання. Саме на цих етапах відбувається формування структури металу, виникнення або запобігання внутрішнім і поверхневим дефектам, а також забезпечується отримання необхідних механічних властивостей готового виробу.

Для виготовлення виливка «Ступиця з фланцем» використовують піщано-глинисті форми, виготовлені методом машинного формування. Формувальна суміш повинна забезпечувати достатню міцність форми, газопроникність та стійкість до дії високих температур розплавленого металу. Для виготовлення стрижня застосовують спеціальну стрижневу суміш, яка забезпечує точне

відтворення внутрішньої конфігурації деталі та руйнується після завершення процесу кристалізації металу.

Після складання та контролю готовності форма надходить на ділянку заливання. Заповнення форми здійснюють розплавленим сірим чавуном марки СЧ20. Температуру заливання приймають у межах 1360–1420 °С, що забезпечує достатню рідкотекучість металу та надійне заповнення всіх елементів порожнини форми.

Перед початком заливання з поверхні розплаву видаляють шлакові включення та продукти окиснення. Метал подають у ливникову чашу безперервним потоком, підтримуючи її заповненою протягом усього процесу заливання. Такий режим забезпечує стабільний рух металу в ливниковій системі та знижує ймовірність захоплення повітря і утворення газових дефектів.

Завдяки прийнятій схемі нижнього підведення металу розплав надходить у порожнину форми плавно, без значного турбулентного перемішування. Це сприяє затриманню шлакових включень у шлаковловлювачі та забезпечує формування щільної структури металу по всьому об'єму виливка.

Після завершення заливання форма залишається нерухомою до повного завершення процесів кристалізації та охолодження металу. Під час охолодження відбувається формування структури сірого чавуну, а також зменшення температурних напружень, які виникають у виливку. Завдяки відносно невеликій масі деталі та рівномірній товщині стінок забезпечуються сприятливі умови для охолодження без утворення значних усадкових дефектів.

Після досягнення температури, за якої виливок зберігає необхідну міцність, виконують вибивання форми. У процесі вибивання руйнується формувальна суміш та здійснюється вилучення виливка разом із залишками ливниково-живильної системи. Далі виконують очищення поверхні від залишків суміші, відрізання елементів ливникової системи та підготовку виробу до контролю якості.

Дотримання встановлених параметрів заливання, охолодження та вибивання забезпечує отримання якісного виливка «Ступиця з фланцем» із

необхідними геометричними параметрами, структурою металу та експлуатаційними властивостями.

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

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.

$$C_1 = C_6 + 0,4 \cdot C_6 + C_{nid} \quad (3.2)$$

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

Тоді:

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

Для оцінювання ефективності роботи ливниково-живильної системи та перевірки правильності прийнятих параметрів заливання визначають середню швидкість підйому рівня металу у порожнині форми. Цей показник характеризує інтенсивність заповнення виливка розплавом і дозволяє оцінити відповідність прийнятого режиму заливання технологічним вимогам.

Надто висока швидкість підйому металу може призводити до турбулентного руху потоку, захоплення повітря та утворення газових дефектів. Водночас занадто повільне заповнення форми спричиняє передчасне охолодження розплаву та підвищує ризик виникнення недоливів. Тому середня швидкість підйому металу повинна знаходитися в оптимальних межах, що забезпечують якісне формування виливка.

Для виливка «Ступиця з фланцем» середню швидкість підйому рівня металу у формі визначають 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 заливання повинна забезпечувати повне заповнення порожнини форми до початку інтенсивного охолодження металу. Правильно вибраний режим заливання сприяє рівномірному розподілу розплаву в робочій порожнині, зменшує ймовірність утворення недоливів, газової

пористості та шлакових включень, а також створює сприятливі умови для формування якісної структури металу.

Після завершення заливання форма залишається нерухомою протягом часу, необхідного для кристалізації та охолодження виливка. У цей період відбувається перехід металу з рідкого стану у твердий, формуються структура сірого чавуну та основні механічні властивості майбутньої деталі. Тривалість охолодження залежить від маси виливка, товщини стінок, температури заливання та теплофізичних властивостей формувальної суміші.

Після завершення процесу охолодження форму подають на вибивну дільницю, де відбувається руйнування формувальної суміші та вилучення виливка. Формувальна суміш відокремлюється від металу та після відповідної підготовки може бути повторно використана для виготовлення нових форм.

Наступною операцією є очищення виливка від залишків формувальної суміші, стрижневого матеріалу та елементів ливниково-живильної системи. Для покращення якості поверхні застосовують механічне очищення, після чого виконують видалення заливів, задирок та інших нерівностей, що утворилися під час лиття.

Після завершення операцій очищення виливок направляють на контроль якості. Під час контролю перевіряють відповідність геометричних розмірів кресленню, якість поверхні, відсутність видимих дефектів, а також відповідність матеріалу встановленим вимогам. Особливу увагу приділяють стану посадкових поверхонь і центрального отвору, які є найбільш відповідальними елементами деталі «Ступиця з фланцем».

Таким чином, дотримання встановлених режимів заливання, охолодження, вибивання та очищення забезпечує отримання якісного виливка із сірого чавуну СЧ20, який відповідає вимогам конструкторської документації та придатний для подальшої механічної обробки й експлуатації у складі машинобудівного обладнання.

3.4 Контроль якості відливків та можливі дефекти

Контроль якості є невід'ємною складовою технологічного процесу виготовлення виливків і спрямований на забезпечення відповідності готової продукції вимогам конструкторської документації. Основним завданням контролю є своєчасне виявлення відхилень технологічного процесу та дефектів, які можуть негативно вплинути на експлуатаційні характеристики деталі.

Під час виготовлення виливка «Ступиця з фланцем» контроль здійснюється на всіх етапах виробництва. Перевіряють якість формувальних і стрижневих сумішей, правильність виготовлення та складання форми, відповідність температури заливання встановленим вимогам, а також дотримання режимів охолодження та очищення виливків.

Після завершення технологічного циклу виконують приймальний контроль готових виробів. При цьому перевіряють геометричні розміри виливка, якість поверхні, твердість матеріалу та відсутність видимих дефектів. Контроль розмірів здійснюють за допомогою штангенциркулів, мікрометрів, калібрів та інших засобів вимірювання. Особливу увагу приділяють центральному отвору маточини, посадковим поверхням та елементам фланцевого кріплення.

Якість поверхні оцінюють шляхом візуального огляду після очищення виливка. На поверхні не допускаються тріщини, недоливи, значні раковини, шлакові включення, перекося та інші дефекти, які можуть погіршити працездатність деталі або ускладнити її подальшу механічну обробку.

У процесі виробництва чавунних виливків можуть виникати різноманітні ливарні дефекти. Основні дефекти, причини їх появи та способи запобігання наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні дефекти виливків та заходи щодо їх попередження

Дефект	Причини виникнення	Способи попередження
Газові раковини	Надмірна вологість суміші, недостатня газопроникність форми	Контроль властивостей суміші, покращення вентиляції форми
Усадочна пористість	Нерівномірне тверднення металу	Раціональне проектування ливниково-живильної системи
Шлакові включення	Потрапляння шлаку в порожнину форми	Очищення розплаву та використання шлаковловлювачів
Недолив	Недостатня температура металу або мала швидкість заливання	Дотримання температурного режиму та параметрів заливки
Пригар	Висока температура металу або низька вогнетривкість суміші	Використання якісних формувальних матеріалів
Перекіс виливка	Неточне складання форми	Контроль взаємного розташування напівформ
Зміщення стрижня	Недостатня фіксація стрижня	Надійне встановлення стрижня у знаках
Тріщини	Значні внутрішні напруження під час охолодження	Дотримання раціонального режиму охолодження

Для виливка «Ступиця з фланцем» особливого значення набуває контроль центрального отвору та фланцевої частини, оскільки саме ці елементи визначають точність установлення деталі у вузлі та її працездатність під час експлуатації. Також важливим є запобігання зміщенню стрижня, що може призвести до порушення співвісності внутрішньої поверхні маточини.

Отже, систематичний контроль якості на всіх стадіях виробництва дозволяє своєчасно виявляти можливі відхилення технологічного процесу, мінімізувати кількість браку та забезпечити отримання якісного виливка «Ступиця з фланцем» із сірого чавуну СЧ20, який відповідає встановленим технічним вимогам.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано проектування ливарної форми для виготовлення виливка «Ступиця з фланцем» із сірого чавуну СЧ20.

Розроблено конструкцію ливарної форми з горизонтальною площиною рознімання, яка забезпечує простоту формування, зручність складання та отримання виливка необхідної геометричної форми. Передбачено використання центрального стрижня для формування внутрішньої порожнини маточини, що дозволяє отримати необхідну конфігурацію внутрішніх поверхонь деталі.

Розглянуто послідовність складання форми та встановлення стрижня. Встановлено, що прийнята конструкція забезпечує надійну фіксацію всіх елементів форми, точність взаємного розташування поверхонь та стабільність технологічного процесу під час заливання металу.

Визначено особливості виконання операцій заливання, охолодження та вибивання виливка. Прийнята технологія забезпечує рівномірне заповнення порожнини форми розплавленим металом, сприятливі умови для кристалізації та формування структури сірого чавуну, а також отримання якісного виливка без суттєвих ливарних дефектів.

Проаналізовано основні методи контролю якості готових виливків та розглянуто найбільш поширені дефекти, які можуть виникати під час виробництва. Визначено причини їх утворення та запропоновано заходи щодо їх попередження, що сприяє підвищенню якості продукції та зменшенню рівня браку.

Отже, розроблена конструкція ливарної форми та прийняті технологічні рішення забезпечують можливість виготовлення якісного виливка «Ступиця з фланцем» із сірого чавуну СЧ20 відповідно до вимог конструкторської документації та умов експлуатації деталі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі виконано розроблення технологічного процесу виготовлення виливка «Ступиця з фланцем» із сірого чавуну СЧ20 у піщано-глинистій формі.

У результаті аналізу призначення та умов експлуатації деталі встановлено, що ступиця з фланцем належить до відповідальних елементів машинобудівних конструкцій, які працюють під дією статичних і динамічних навантажень та потребують забезпечення достатньої міцності, жорсткості й довговічності.

Проведений аналіз конструкції показав, що деталь характеризується достатньою технологічністю для виготовлення методом лиття. Конструкція не містить складних піднутрень, має раціональну форму та дозволяє застосувати просту площину рознімання форми й один центральний стрижень для формування внутрішньої порожнини.

Обґрунтовано вибір матеріалу виливка – сірого чавуну марки СЧ20, який характеризується добрими ливарними властивостями, достатньою міцністю, високою демпфувальною здатністю та доброю оброблюваністю різанням. Встановлено, що властивості даного матеріалу повністю відповідають умовам роботи деталі.

Для виготовлення виливка обрано технологію лиття у піщано-глинистій формі з використанням машинного формування. Визначено раціональне положення виливка у формі, вибрано площину рознімання, призначено припуски на механічну обробку, формувальні ухили та конструкцію стрижневого оснащення.

Виконано розрахунок та проєктування ливниково-живильної системи, яка забезпечує рівномірне заповнення порожнини форми розплавленим металом, ефективно затримання неметалевих включень та сприяє отриманню якісного виливка без газових, шлакових і усадкових дефектів.

Розроблено конструкцію ливарної форми, визначено порядок її складання, встановлення стрижня, виконання операцій заливання, охолодження, вибивання

та очищення виливка. Запропоновані технологічні рішення забезпечують стабільність виробничого процесу та отримання виливків необхідної якості.

Розглянуто основні методи контролю якості готової продукції, проаналізовано найбільш поширені ливарні дефекти та визначено заходи щодо їх попередження. Це дозволяє забезпечити відповідність виливка вимогам конструкторської документації та знизити рівень браку у виробництві.

Таким чином, поставлену мету кваліфікаційної роботи досягнуто. Розроблений технологічний процес виготовлення виливка «Ступиця з фланцем» із сірого чавуну СЧ20 у піщано-глинистій формі забезпечує отримання якісної деталі з необхідними геометричними параметрами, механічними властивостями та експлуатаційною надійністю при раціональних виробничих витратах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 8833:2019. Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 28 с. 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 «ХП», 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