

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра Матеріалознавства та ливарного виробництва

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри М та ЛВ
к.т.н., доц. Олександр КУЗИК
(прізвище та ініціали)
« ____ » _____ 2026__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

**«Розробка технологічного процесу виготовлення
відливка «Ролик» методом лиття в піщано-глинисту
форму»**

**«Development of a technological process for
manufacturing a casting "Roller" by casting in a sand-
clay mold»**

Виконав: здобувач вищої освіти 4-го курсу
групи ПМ-22-1
Іван Скігар
(прізвище та ініціали)

ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D друк
спеціальності G9 Прикладна механіка

Керівник роботи:

к.т.н., доц.

Олександр СКРИПНИК
(прізвище та ініціали)

Рецензент:

к.т.н., доц.

(прізвище та ініціали)

Центральноукраїнський національний технічний університет	
Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Матеріалознавства та ливарного виробництва
Рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
Галузь знань	G Інженерія, виробництво та будівництво
Спеціальність	G9 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри М та ЛВ
_____ Олександр КУЗИК
«_____» _____ 2026 р.

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

Скігар Іван Геннадійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка технологічного процесу виготовлення відливка «Ролик» методом лиття в піщано-глинисту форму
 2. Керівник роботи: к.т.н., доц. Олександр СКРИПНИК
затверджені наказом вищого навчального закладу від "13" 03 2026 року № 167-02
 3. Строк подання роботи до захисту 15.06.2025
 4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи: Розробити технологічний процес виготовлення виливка «Ролик» методом лиття в піщано-глинисту форму
- Завдання:
1. Обґрунтувати вибір матеріалу виливка та описати його властивості
 2. Привести характеристику деталі та розробити технічні умови на виливок
 3. Розробити технологічний процес виготовлення виливка
 4. Розрахувати і сконструювати ливникову систему
 5. Описати технологічний процес виготовлення виливка
 6. Описати процес проектування ливарної оснастки

Перелік графічного матеріалу:

1. Ролик
2. Форма в зборі

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Процес виготовлення виливка	Скрипник О. В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей	25.03.2026	
2	Характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок	1.04.2026	
3	Розробка технологічного процесу виготовлення виливка	9.04.2026	
4	Розрахунок і конструювання ливникової системи	15.04.2026	
5	Опис технологічного процесу виготовлення виливка	21.04.2026	
6	Опис процесу проектування ливарної оснастки	7.05.2026	
7	Оформлення пояснювальної записки	17.05.2026	
8	Оформлення презентації роботи	25.05.2026	

Дата видачі завдання «_____» _____ 2026__ р.

Керівник роботи _____ (Олександр СКРИПНИК)
(підпис)

Завдання прийнято до виконання «_____» _____ 2026__ р.

Здобувач вищої освіти _____ (Іван СКІГАР)
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на 29 стор. друкованого тексту і містить 2 рис., 11 табл., 15 джерел.

Дана бакалаврська робота присвячена комплексному аналізу та розробці технологічного процесу виготовлення виливка «Ролик». Деталь виготовляється з високоміцного чавуну та призначена для використання у пристроях для транспортування важких вантажів. Для виробництва обрано метод лиття в піщано-глинисту форму. У ході виконання роботи було реалізовано наступні кроки:

1. аналіз конструкції - вивчено особливості деталі та сформовано вимоги до її якості;
2. нормативна база - розроблено технічні умови на виготовлення;
3. проектування технології - вибрано оптимальний метод лиття та необхідне обладнання;
4. інженерні розрахунки - спроектовано ливниково-живильну систему;
5. формування - розроблено технологію виготовлення ливарної форми;
6. матеріалознавство – описано характеристики матеріалів, які застосовуються у виробничому циклі;
7. контроль якості - приведено систему технічного контролю готових виливків.

Кожен етап детально опрацьовано з метою забезпечення якісного та ефективного виробництва.

Предмет розробки – визначення технологічних параметрів, складання опису виробництва виливка та його формування.

Результати проектування – розроблена технологія ливарної форми, виконано вибір сучасного ливарного устаткування.

Результати розробки можуть бути рекомендовані для впровадження при виробництві чавунних виливків середньої складності в умовах серійного та масового виробництва.

**ВИЛИВОК, ОПОКА, ЖИВИЛЬНИК, ПРИПУСК, ОСНАСТКА,
МОДЕЛЬНИЙ КОМПЛЕКТ, СТЕРЖЕНЬ**

ABSTRACTS

The explanatory note is presented on 29 pages of printed text and contains 2 figures, 11 tables, and 15 sources.

This bachelor's thesis is devoted to a comprehensive analysis and development of the technological process for manufacturing a “Roller” casting. The part is made of high-strength cast iron and is intended for use in devices for transporting heavy loads. The sand-clay mold casting method was chosen for production. The following steps were taken in the course of the work:

1. design analysis - the features of the part were studied and quality requirements were formulated;
2. regulatory framework - technical conditions for manufacturing were developed;
3. technology design - the optimal casting method and necessary equipment were selected;
4. engineering calculations - a gating and feeding system was designed;
5. molding - a technology for manufacturing a casting mold was developed;
6. materials science - the characteristics of the materials used in the production cycle were described;
7. quality control - a system of technical control of finished castings was introduced.

Each stage was worked out in detail to ensure high-quality and efficient production.

The subject of development was to determine the technological parameters, compile a description of the casting production and its formation.

Design results – casting mold technology has been developed, and modern casting equipment has been selected.

The results of the development can be recommended for implementation in the production of medium-complexity cast iron castings in serial and mass production.

CASTING, MOLD, FEEDER, ALLOWANCE, FITTING, MODEL KIT, ROD

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	6
1 Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей.....	7
2 Характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок.....	9
3 Розробка технологічного процесу виготовлення виливка.....	10
3.1. Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.....	10
3.2 Визначення положення виливка у формі.....	15
3.3 Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків.....	15
4 Розрахунок і конструювання ливникової системи.....	15
4.1 Визначення габаритних розмірів опоки.....	15
4.2 Визначення оптимальної тривалості заливки.....	16
4.3 Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.....	17
5 Опис технологічного процесу виготовлення виливка.....	19
5.1 Вибір формувальної та стержньової суміші.....	19
5.2 Формовка.....	20
5.3 Збирання форм.....	21
5.4 Заливка форм.....	21
5.5 Вибивка і обрубка.....	23
6 Опис процесу проектування ливарного оснащення.....	24
ЗАКЛЮЧЕННЯ.....	26
ЛІТЕРАТУРА.....	27
ДОДАТКИ.....	29

ВСТУП

Ливарне виробництво сьогодні є фундаментом машинобудівної галузі, охоплюючи повний цикл - від плавлення металу до фінального контролю якості готової продукції [1]. Попри тривалу історію та широке розповсюдження традиційного лиття в піщані форми, сучасний ринок диктує нові умови. Постійне зростання вимог до точності деталей змушує підприємства відходити від застарілих методів на користь модернізації.

Для забезпечення конкурентоспроможності сучасне виробництво має орієнтуватися на наступні чинники:

1. інноваційність та автоматизація - впровадження новітніх технологій дозволяє суттєво оптимізувати процеси та знизити виробничі витрати;
2. екологічність - одним із найгостріших питань є підвищення екологічної чистоти технологій та покращення умов праці для персоналу;
3. якість продукції - Технічний прогрес вимагає від виливків не лише високої точності, але й регламентованих фізико-хімічних та механічних властивостей при мінімальній масі та собівартості.

На сьогодні у світовій практиці зафіксовано близько 60 різних способів лиття. Кожен із них має свою специфіку:

- універсальність. Кожен метод має унікальні переваги та обмеження;
- ефективність. Вибір конкретного способу залежить від визначеної сфери застосування, де він демонструє найкращі результати.

Для сучасного фахівця-ливарника з вищою освітою критично важливо не лише знати теоретичні основи різних способів лиття, а й вміти професійно організувати технологічні процеси, ефективно використовуючи сучасне обладнання та оснастку [2].

1 Обґрунтування вибору матеріалу вилівка та опис його властивостей

Вибір матеріалу для вилівка важливий крок, який визначає якість та довговічність деталі. В даному випадку для виготовлення виливок «Ролик» використовуємо сплав ВЧ 50 ДСТУ 3925-99 [3]. Рішення про використання цього сплаву було зроблене на основі його фізичних та механічних властивостей, а також хімічного складу, які наведено в табл. 1.1, 1.2, 1.3.

Таблиця 1.1 - Фізичні властивості чавуну марки ВЧ 50 ДСТУ 3925-99

Марка чавуну	Густина, ρ , кг/м ³	Лінійна усадка, ϵ , %	Ливарна усадка, β , %	Модуль пружності під час розтягування, $E \times 10^{-5}$ МПа	Питома теплоємність, c , в інтервалі температур від 20 °С до 200 °С включно, Дж/(кг·К)	Коефіцієнт лінійного розширення, α , в інтервалі температур від 20 °С до 200 °С включно, $\alpha \times 10^{-6}/K$	Коефіцієнт теплопровідності, λ , за 20 °С, Вт/(м·К)
ВЧ 50	7200	1,0 – 1,5	0,8 – 1,0	160 - 180	480 - 520	11 - 11,5	31 - 38

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сплаву ВЧ 50 ДСТУ 3925-99

Сплав	Межа міцності на розрив σ_r , МПа, не менше ніж	Відносне подовження, %	Твердість по Брінеллю, НВ, не більше ніж
ВЧ 50	500	2,00 – 7,00	180 - 260

Таблиця 1.3 – Хімічний склад сплаву ВЧ 50 за ДСТУ 3925-99

Елементи	C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %
В межах	3,20 - 3,60	1,90 - 2,90	0,20 - 0,90	< 0,02	< 0,10
Середнє	3,40	2,40	0,55	-	-

Високоміцним називається чавун, в якому графітні включення мають кулясту форму. Така форма графіту утворюється при обробці рідкого чавуну невеликими дозами таких елементів як магній, церій, кальцій, ітрій. Ці елементи називаються модифікаторами. Вони практично не змінюють хімічний склад сплавів, зате суттєво впливають на їхню структуру, змінюючи форму графітних включень, розмір зерен, їх розташування тощо. Як модифікатор для виготовлення чавуну з кулястим графітом найчастіше всього використовується магній - найбільш ефективний і дешевий елемент.

Марка ВЧ 50 (згідно з ДСТУ 3925-99) - це чавун із кулястим графітом, що має границю міцності на розтяг не менше 500 МПа. Його унікальні властивості визначаються двома компонентами: металевою матрицею та формою графіту.

На відміну від сірого чавуну (СЧ), де графіт має форму гострих пластин, у ВЧ 50 він має форму сфероїдів (кульок). Пластинчастий графіт діє як внутрішній надріз, що сильно концентрує напруження та робить метал крихким. Кулястий графіт мінімізує цей ефект, дозволяючи металевій матриці реалізувати свою міцність та пластичність.

Графіт займає близько 10...12 % об'єму, що забезпечує гарну зносостійкість та здатність гасити вібрації.

ВЧ 50 за структурою є перлітно-феритним чавуном. Перліт забезпечує високу міцність та твердість. Його вміст у ВЧ 50 зазвичай становить 50...80 %. Ферит забезпечує пластичність та в'язкість. Він оточує кульки графіту у вигляді світлих кілець (структура "бичаче око").

Хімічний склад ВЧ 50 ретельно збалансований для отримання кулястого графіту та потрібного співвідношення фаз у матриці, так наприклад [4]:

1. вуглець. Вуглець є основою для утворення графіту. Збільшення вмісту понад 3,8 % може призвести до "спливання" графіту та зниження міцності. Зменшення нижче 3,2 % погіршує ливарні властивості та сприяє утворенню відбілу (крихкого цементиту);
2. кремній. Це найпотужніший графітизатор. Він стимулює виділення графіту та перешкоджає утворенню карбідів (відбілу). Кремній зміцнює ферит шляхом утворення твердого розчину, що підвищує границю плинності чавуну
3. марганець. Марганець є перлітоутворювачем. Він перешкоджає виділенню фериту, роблячи структуру більш перлітною, що прямо підвищує міцність (марка ВЧ 50 потребує більше марганцю, ніж ВЧ 40). Однак надлишок Mn сприяє виділенню шкідливих карбідів на межах зерен;
4. магній. Критичний елемент, який називають модифікатором. Саме магній змінює форму графіту з пластинчастої на кулясту. Якщо залишковий вміст Mg впаде

нижче 0,03 %, графіт стане вермікулярним або пластинчастим, і чавун втратить міцність, перетворившись на звичайний сірий;

5. фосфор (P) та сірка (S). Це шкідливі домішки, вміст яких жорстко обмежений ($<0,08$ для P та $<0,02$ S). Сірка зв'язує магній, перешкоджаючи сфероїдації графіту. Фосфор утворює фосфідну евтектику - дуже тверду і крихку фазу, яка різко знижує ударну в'язкість;

6. мідь (Cu) та олово (Sn). Часто додаються для стабілізації перліту. Мідь (до 0,5 %) ефективно збільшує кількість перліту без ризику появи відбілу, що є ідеальним для досягнення показників ВЧ 50.

Структура ВЧ 50 є результатом тонкого балансу між графітизацією (Si) та стабілізацією перліту (Mn, Cu) при обов'язковій наявності модифікатора (Mg). Високоміцні чавуни є заміником литої і штампованої сталі [2]. Тому з такого чавуну виготовляють відповідальніші деталі машин і двигунів - гільзи циліндрів, колінчасті вали, деталі супортів металорізальних верстатів, лапки бурякозбирального комбайна та ін.

2 Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок

Виливок «Ролик» має точність 9Т-0-0-10 ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення [5], група 2, виготовляється із чавуну ВЧ 50 за ДСТУ 3925-99 [3]. Зміщення по лінії роз'єму більше 2 мм не допускається. На оброблюваних поверхнях допускаються одиничні раковини довжиною не більше $1/3$ кола, шириною не більше 3 мм, або мілкі раковини найбільшим розміром 3 мм в кількості не більше 5 шт. На необроблюваних поверхнях допускаються одиничні раковини розміром не більше 2 мм, глибиною не більше 4 мм і в кількості не більше 8 штук на поверхню.

Виливок має один отвір, поверхня якого в подальшому обробляється. Отвір отримуємо за допомогою стержня У місцях спряження стержня і форми допускається присутність кільцевих заусениць довжиною до 1,5 мм.

Деталь «Ролик» призначена для пристрою транспортування важких вантажів. Конструкція даної деталі має просту конфігурацію, її маса - 2,1 кг, габаритні розміри 88 × 46 мм, твердість 180...260 НВ. Роз'ємних частин немає, роз'єм моделі і форми один. Даний відливок є технологічним. Для виготовлення даного виливка використовуємо опоку з габаритами 900 × 600 × 125 мм.

3 Розробка технологічного процесу виготовлення виливка

3.1 Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів

Для плавки сплаву марки ВЧ 50 обираємо тигельну індукційну піч промислової частоти марки ІЧТ -2,5/1,0 [6], технічна характеристика якої наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика тигельної індукційної печі промислової частоти марки ІЧТ -2,5/1,0

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Витрати палива	кВт год/т	650...700
Потужність	кВт	1000
Температура металу при випуску із печі	°С	1400...1550
Продуктивність плавки	т/год	1,25
Угар і безповоротні втрати	%	2...4

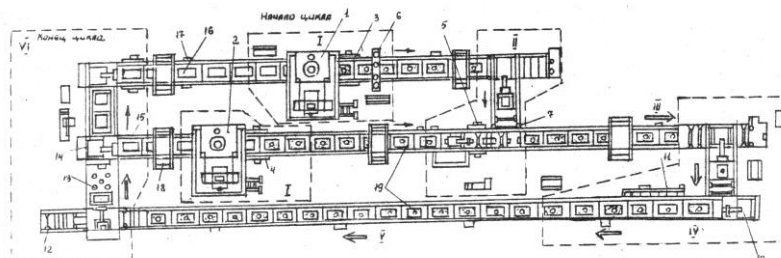
Точне врахування падіння температури під час випуску та транспортування розплаву є критичним фактором для отримання якісних виливків. Недотримання температурного режиму призводить до браку: від недоливу та спаїв при переохолодженні до термічного пригару при перегріві.

Для встановлення коректної температури випуску з печі необхідно сумувати цільову температуру заливки з технологічними втратами на кожному етапі:

- випуск із плавильної печі: втрати становлять 20...40°С (залежить від прогріву жолоба та швидкості струменя);
- перелив із ковша в ківш: додаткове зниження температури на 30...50°С;
- транспортування та витримка - залежить від місткості ковша, наявності футеровки та часу до початку заливки..

Рекомендована температура заливки високоміцного чавуну з врахуванням втрат тепла складає від 1480 до 1540 °С.

Для виготовлення даного виливка застосовуємо автоматичну ливарну лінію ІЛ 225 Івано-Франківського заводу "Авто-Літмаш" [1]. На рис. 3.1 наведено загальний вид автоматичної лінії ІЛ 225, а технічна характеристика в табл. 3.2.



Дільниці: I – формовки; II і III – складання форм; IV – заливки; V – охолодження; VI – вибивки

1 - формувальний автомат нижніх напівформ; 2 - формувальний автомат верхніх напівформ; 3 - кантувач нижніх напівформ; 4 і 5 - кантувач верхніх напівформ; 6 - механізм зрізання залишків суміші; 7 - складальник форм; 8 - відсікач; 9 - уніфікований товкач; 10 - механізм опускання підопічних щитів; 11 - механізм приживання форм при заливці; 12 - механізм спускання підопічних щитів; 13 - установка видавлювання форм і опок; 14 - розпакувальник; 15 - механізм підйому опок; 16 - кантувач нижніх опок; 17 - механізм очистки опок; 18 - перехідний мостик; 19 - секції роликового конвеєра.

Рисунок 3.1 – Загальний вид комплексної автоматичної лінії ІЛ 225

На даній лінії автоматизовано процес виготовлення виливків від формовки до вибивки готової форми і дозволяє значно підвищити продуктивність та якість виробництва. Конфігурація та розміри виливка визначають висоту верхньої та нижньої опоки (складає 125 мм). Розміри опоки в світлі 900 × 600 мм створюють достатньо простору для виготовлення великих деталей або кількох менших деталей одночасно.

Таблиця 3.2 - Технічна характеристика автоматичної лінії ІЛ 225

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Розміри опок: висота × довжина × ширина	мм	125 × 900 × 600
Циклова продуктивність	форм/год	240
Максимальне зусилля пресування	кН	2350

Тиск пресування	МПа	4...6
Найбільша металоємність форми	кг	70
Швидкість руху опок по роликівим конвеєрам	м/хв	4...6,75
Час охолодження	хв	30...90
Кількість комплектів опок	шт	100
Кількість підопічних плит	шт	90
Витрати стисненого повітря	м ³ /хв	110
Максимально встановлена потужність	кВт	115
Витрати формівної суміші	м ³ /хв	70...110
Число операторів	чол	5
Габаритні розміри лінії	мм	65200 × 9300 × 6855
Заглиблення лінії	мм	755
Загальна маса лінії	кг	220000

Процес виготовлення виливків на базі формувального преса В-440М поділяється на такі ключові етапи:

1. Підготовка та збирання форм:

- формування відбувається на пресі В-440М виготовляються верхня та нижня півформи;
- очищення - порожнини півформ продуваються стисненим повітрям для повного видалення залишків суміші;
- складання - у нижню півформу вручну встановлюються стержні, після чого здійснюється накриття верхньою півформою;
- транспортування - готові форми подаються рольгангами на ділянку заливки;

2. Заливка та кристалізація:

- перед заливкою чавун обов'язково очищується від шлаку (підготовка розплаву);
- заливка виконується автоматичним заливальником із ковшем ємністю 250 кг;
- охолодження - відливки проходять цикл твердіння та структурних перетворень під час руху рольгангами. Процес триває до досягнення температури вибивки 200 °С;

3. Вибивка та регенерація суміші. Після завершення циклу охолодження форми спрямовуються на ділянку вибивки:

- розформування - штовхач автоматично знімає опок з плит конвеєра;
- видавлювання - прес виштовхує форму на вібраційну решітку;

– руйнування - на решітці відбувається подрібнення грудок формувальної суміші.

Відпрацьована суміш через лоток подається на конвеєр для подальшої регенерації. Виливки потрапляють в галтувальний барабан моделі ОБ-900 [7] для остаточного відділення від суміші, технічна характеристика якого наведена в табл. 3.4.

Оброблені виливки направляються на пластинчатий транспортер і подаються у очисне відділення для фінішного очищення, обрубки і обробки.

Таблиця 3.4 – Технічна характеристика галтувального барабана моделі ОБ-900

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Об'єм завантаження	м ³	0,8
Найбільша маса завантаження	кг	1800
Габаритні розміри	мм	3930 × 1240 × 1635
Маса	кг	4000
Потужність електродвигуна	кВт	7,5

Для остаточної очистки виливок застосовується дробометний барабан моделі 42223М, технічна характеристика якої наведено в табл. 3.5 [8].

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика дробометний барабан моделі 42223М

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність, т/год	т/год	3
Об'єм завантажуваних виливків	м ³	0,3
Дробометний апарат: число обертів	об/хв	2500
діаметр дробу	мм	1,5...2,0
Кількість дробометних барабанів	шт	1
Розмір оброблюваних виливків: найбільша діагональ	мм	450
Продуктивність одного апарата за дробом	кг/хв	300
Кількість відсмотуваного повітря	м ³ /год	12200
Встановлена потужність	кВт	36,9
Габаритні розміри: довжина × ширина × висота	мм	4500 × 4500 × 6500
Маса	кг	11700

Виливки зачищаються абразивними кругами з метою видалення заливів, заусениць, перекосів, нерівностей поверхонь і здійснюється на стаціонарних зачисних верстатах NS MAQUINAS, технічна характеристика яких наведено в табл. 3.6 [9].

Таблиця 3.6 – Технічна характеристика зачисного верстата NS MAQUINAS

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Розмір круга	мм	250
Продуктивність	т/год	0,08...0,12
Маса зачищаємих виливків	кг	до 2,5
Товщина абразивного круга	мм	32
Габаритні розміри	мм	540 × 350 × 1160

Після завершення зачисних робіт виливки з ВЧ 50 проходять фінальний етап перевірки та підготовки до відвантаження або механічної обробки.

Це дозволяє оперативно виявити будь-які дефекти чи недоліки. У разі виявлення дефектів проводиться виправлення (ремонт), після чого обов'язково здійснюється повторний контроль якості ВТК.

Для захисту від корозії під час зберігання та підготовки поверхні до подальшої механічної обробки виливки проходять наступні операції:

- промивання та сушіння – виливки спочатку промивають у двокамерній машині, а потім сушать теплим повітрям;
- ґрунтування – очищені виливки занурюють у ванну з ґрунтовкою;
- сушіння – ґрунтовка просушується у спеціальній камері при температурі 60° С протягом 10 хвилин;
- фарбування – після сушіння ґрунтовки проводиться фінальне фарбування виливків;

Після завершення процесу фарбування та фінального контролю, готові виливки направляються на склад готових виробів, де вони зберігаються до моменту подальшого використання або відвантаження замовнику. Для приготування формувальної суміші використовуємо змішуючі бігуни моделі 15102 [10] (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Технічна характеристика змішуючих бігунів моделі 15102

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Об'єм замісу	м ³	0,45
Тривалість циклу	хв	3...4
Продуктивність	т/год	8...11
Габаритні розміри в плані	мм	∅ 1615
Потужність	кВт	22
Маса	кг	6000

3.2 Визначення положення виливка у формі

Положення виливка у формі в період заливки вибираємо горизонтальним. Поверхня роз'єму моделі і форми при цьому займає горизонтальне положення і являється єдиною для даного виливка, що полегшує застосування машинної формовки. Поверхня роз'єму розташовується так, що модель не має з'ємних частин. Роз'єм моделі і форми розташовується таким чином, що виливок знаходиться в нижній і верхній напівформах. Такий роз'єм забезпечує хорошу набивку форми, її складання, надійність встановлення стержнів, зручність контролю розмірів, вільне вилучення моделі із форми.

3.3 Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків

Деталь «Ролик» має один отвір який в подальшому обробляються. Припуск на механічну обробку приймаю 2,5 мм відповідно до вимог ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення вибираємо згідно [11].

Припуск на ливарну усадку виражається в процентах від розміру відливка. Значення величини ливарної усадки для чавуну ВЧ 50 складає 1 % [11].

Величину радіуса заокруглень вибираємо в межах $1/5 \dots 1/3$ середнього арифметичного товщини спряжених стінок. Для виливка «Ролик» не вказані радіуси складають 5 мм.

Формувальні ухили назначаємо в залежності від ливарних розмірів виливка і прийнятої технології виготовлення форми і стержня у відповідності з ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення. Величина ухилу складає 3° .

4 Розрахунок і конструювання ливникової системи

4.1 Визначення габаритних розмірів опоки

Вибір оптимальних розмірів опоки є критичним етапом, що безпосередньо впливає на точність геометричних розмірів виливка та економічну ефективність виробництва. Для розрахунку було враховано наступний комплекс технологічних чинників:

1. геометрія та кількість виливків. Габарити кожної деталі стали базовим параметром. Для максимізації продуктивності обрано схему розміщення 14 виливків в одній формі;
2. проектування ливниково-живильної системи. Визначено необхідний корисний простір для елементів підведення металу, що гарантує рівномірне заповнення порожнини форми та живлення виливка під час усадки;
3. схема розміщення моделей на плиті:
 - а) коефіцієнт металоємності. Проведено оптимізацію розташування для найбільш ефективного використання об'єму формувальної суміші;
 - б) технологічні дистанції. Витримано нормативні відстані між моделями, а також від моделей до стінок опоки. Це запобігає термічній деформації суміші та гарантує цілісність форми під час заливки.

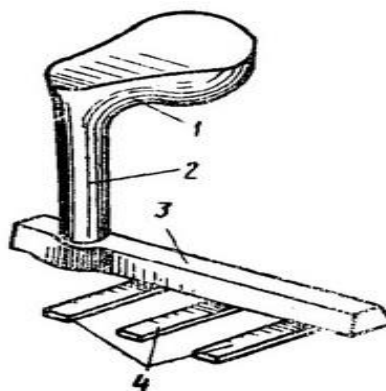
На основі аналізу вищезазначених параметрів встановлено, що оптимальними для даного техпроцесу є опоки з габаритами $900 \times 600 \times 125$ мм

4.2 Визначення оптимальної тривалості заливки

Ливниково-живильна система служить для забезпечення заповнення ливарної форми металом з оптимальною швидкістю, що виключає утворення у відливку недоливів і неметалічних включень, і об'ємної усадки в період затвердіння відливка [12].

Ливникова система - це поєднання каналів, які служать для заливки розплаву в форму і для затримання шлаку.

На рис. 4.1 показана найчастіше вживана при виробництві виливків з сірого чавуну ливниково-живильна система:



1 - чаша, 2 - стояк, 3 - шлаковловлювач, 4 – живильники

Рисунок 4.1 - Горизонтальна ливникова система

Знаходимо масу металу, необхідного для заливання форми:

$$G_{\text{металу}} = 14G + (0,4G)14, \quad (4.1)$$

де G - маса відливка, $G = 2100$ г.

$$G_{\text{металу}} = 14 \cdot 2100 + (0,4 \cdot 2100) \cdot 14 = 41160 \text{ г} = 48,16 \text{ кг}$$

Час заливки форми:

$$\tau = S \sqrt[3]{Q\delta}. \quad (4.2)$$

де τ - час заливки форми, с;

S - коефіцієнт, який залежить від марки сплаву, товщини перерізу стінки та конфігурації вилівка (для сплавів: чавунних $s = 1,7 \dots 2,0$) [13];

Q - маса металу, яка проходить крізь живильники, кг;

δ - переважаюча товщина перерізу стінок вилівка, мм.

$$t = 1,8 \sqrt[3]{48,16 \times 9} = 13,4 \approx 14 \text{ с}$$

4.3 Визначення площі перерізу каналів ливникової системи

Сумарна площа живильників:

$$\sum F_{жс} = \frac{G_{металу}}{\rho t v} = \frac{G_{металу}}{\rho t \mu \sqrt{2 g H_p}}, \quad (4.3)$$

де μ - коефіцієнт витрати. Приймаємо $\mu = 0,5$ [13];

g - прискорення вільного падіння, м/с^2 ;

H_p - розрахунковий статичний напір, м.

Так як обрано заливку металу по роз'єму форми, то статичний напір розраховується за формулою:

$$H_p = H_0 - \frac{p^2}{c}, \quad (4.4)$$

де H_0 - висота металу в чаші, $H_0 = 125$ мм;

p - висота відливка над рівнем підйому металу, $p = 42$ мм;

c - загальна висота відливка, $c = 84$ мм.

$$H_p = 125 - \frac{42^2}{84} = 104 \text{ мм} = 0,104 \text{ м}$$

$$\sum F_{жс} = \frac{48,16}{7200 \cdot 14 \cdot 0,5 \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,104}} = 0,0000669 \text{ м}^2 = 6,69 \text{ см}^2$$

$$F_{жс} = \frac{\sum F_{жс}}{n}, \quad (4.5)$$

де n - кількість живильників, $n = 28$

$$F_{жс} = 6,69/28 = 0,24 \text{ см}^2$$

Переріз живильника приймаємо рівним $0,3 \text{ см}^2$.

За знайденою величиною $\sum F_{жс}$ знаходимо площу шлаковловлювачів і стояка за співвідношенням [13]:

$$\sum F_{жс} : \sum F_{шл} : \sum F_{ст} = 1 : 1,15 : 1,2 \quad (4.6)$$

$$\sum F_{шл} = \sum F_{жс} \cdot 1,15 = 6,69 \cdot 1,15 = 7,7 \text{ см}^2$$

Тоді, $F_{шл} = 7,7 : 2 = 3,85 \text{ см}^2$

Сумарна площа стояка: $\sum F_{ст} = \sum F_{жс} \cdot 1,2 = 6,69 \cdot 1,2 = 8,03 \text{ см}^2$

Діаметр стояка $D_{ст} = 3,2 \text{ см}$, конструктивно приймаємо 4 см .

Розрахунок ливникової воронки:

$$D_6 = (2,7 \dots 3) D_{ст} \quad (4.7)$$

$$D_6 = 2,7 \cdot 40 = 108 \text{ мм}$$

5 Опис технологічного процесу виготовлення виливка

5.1 Вибір формувальної та стержньової суміші

У масовому і серійному виробництві рекомендується використовувати єдину формувальну суміш з підвищеною рідинотекучістю. Склад та механічні властивості формувальної суміші приведені у табл. 5.1 [14].

Таблиця 5.1 - Склад і фізико-механічні властивості єдиної формувальної суміші

Складова суміші і параметри	Одиниці	Числове значення
Оборотна суміш	%	96
Пісок кварцовий К02, К016	%	3
Вугілля гранульоване	%	0,15
Бентоніт	%	0,15
Вода	%	до вологості 3,0 - 4,0
Вміст глиняної складової	%	11
Вміст активного бентоніту	%	8

Втрати при прожарюванні	%	3
Вологість	%	3,5
Міцність на стиснення у сирому стані	МПа	0,12-0,15
Газопроникність	одиниць	80
Плинність	одиниць	80

5.2 Формовка

Виробництво ливарних форм здійснюється методом машинної формовки, що дозволяє механізувати найбільш трудомісткі операції: ущільнення суміші та вилучення моделі. Технологічний цикл виготовлення напівформ складається з наступних етапів:

1. подача матеріалів та оснащення. Формувальна суміш безперервно надходить у накопичувальні бункери, розташовані безпосередньо над формувальними машинами. подача порожніх опок до робочих місць здійснюється за допомогою приводних рольгангів;
2. паралельне формування. Для оптимізації такту випуску виготовлення нижньої та верхньої напівформ відбувається паралельно на окремих формувальних установках;
3. дозування та наповнення. За допомогою автоматичних дозаторів визначений об'єм суміші з бункера засипається в опоку, встановлену на модельну плиту;
4. ущільнення та фінішні операції. Проводиться механізоване ущільнення суміші (пресуванням або струшуванням із підпресуванням) для досягнення необхідної твердості форми:
 - а) виконується кантування готової напівформи для зручності подальших маніпуляцій;
 - б) видаляються надлишки суміші з контрладу опоки, після чого проводиться обдуб порожнини форми стисненим повітрям для видалення пилу та дрібних часток;
5. транспортування. Готові напівформи подаються на конвеєр збирання, де встановлюються ливарні стержні (за потреби) та проводиться спаровування

напівформ під заливку.

Оскільки використовується чавун марки ВЧ 50, при машинній формовці особливу увагу слід приділити високій щільності ущільнення (не нижче 80...90 одиниць за твердоміром). Це необхідно для протидії тиску розплаву, що виникає при графітизації чавуну, та запобігання термічному розширенню стінок форми.

5.3 Збирання форм

Точність складання напівформ є визначальним фактором для забезпечення геометричної точності вилівка та мінімізації браку за такими дефектами, як «перекіс» або «залив». Процес збирання охоплює два ключові етапи:

1. точне поєднання напівформ. Процес передбачає суміщення верхньої та нижньої напівформ для формування замкненої робочої порожнини. Вирівнювання здійснюється за допомогою центрувальних штифтів та втулок, встановлених на припливах опок. Це гарантує збіг контурів відбитків моделі та унеможливорює зміщення, яке могло б призвести до порушення розмірних ланцюгів вилівка;

2. спарування та герметизація опок. Після з'єднання напівформ виконується їх щільне фіксування (спарування). Поверхні роз'єму повинні прилягати одна до одної без зазорів, щоб запобігти витіканню рідкого металу (утворенню ливарного задиру). Для компенсації гідростатичного тиску розплаву, особливо при заливці ВЧ 50, що має високу плинність, використовують:

- а) механічні затискачі (скоби) для жорсткої фіксації опок між собою;
- б) накидні вантажі для запобігання підйому верхньої опоки під час заливки.

Для високоміцного чавуну точність спарування є критичною, оскільки через значне розширення металу на стадії графітизації навіть мінімальний зазор у роз'ємі форми може призвести до масивного виліву металу або деформації стінки вилівка.

5.4 Заливка форм

Процес заливання є завершальним і найбільш відповідальним етапом формування вилівка «Ролик». Координація дій та суворе дотримання температурно-часових параметрів мінімізують ризик виникнення неметалевих

включень, газових раковин та недоливів. Основні етапи та регламент заливання:

1. підготовка та рафінування розплаву. Перед початком операції розливний ківш ретельно очищується від залишків шлаку та футеровки. Для ВЧ 50 критично важливо видалити продукти реакції після модифікування (спливаючий шлак), оскільки вони можуть стати центрами напружень у структурі чавуну;

2. використання спеціалізованого оснащення. Заливання здійснюється за допомогою ковшів чайникового типу ємністю 250 кг. Конструкція «чайника» дозволяє відбирати метал з нижніх шарів, автоматично відсікаючи залишки шлаку, що плавають на поверхні, забезпечуючи високу чистоту металу в ливниковій системі;

3. динаміка та контроль заливання:

а) безперервність. Струмінь має бути суцільним, щоб уникнути захоплення повітря та окислення металу;

б) рівномірність. Метал подається в ливникову чашу з такою швидкістю, щоб вона постійно залишалася заповненою. Це створює необхідний гідростатичний тиск для якісного заповнення тонких перетинів форми;

с) температурний режим. Заливка проводиться у вузькому температурному діапазоні (зазвичай 1320...1380 °С) для забезпечення оптимальної рідкотекучості ВЧ 50;

4. поводження з рештками металу. Надлишковий розплав («злив») направляється у спеціально підготовлені виливниці (кокілі для чушок). Це запобігає неконтрольованому застиганню металу на робочих майданчиках та дозволяє ефективно використовувати повернення (скрап) у наступних плавках.

При використанні сплаву ВЧ 50 необхідно пам'ятати про ефект «згасання» модифікатора. Час від моменту введення магнієвих лігатур до закінчення заливання останньої форми з 250-кілограмового ковша не повинен перевищувати 10...12 хвилин, інакше кулястий графіт може трансформуватися у пластинчастий, що знизить марку чавуну.

5.5 Вибивка і обрубка

Процеси вибивки ливарних форм та обрубки ливникової системи є комплексними і критично важливими для завершення виробництва якісних виливків. Вони включають такі основні етапи:

I. вибивка ливарних форм:

- а) подача та видавлювання – охолоджені форми подаються конвеєром під пристрій, який видавлює кому суміші (виливок разом із формувальною сумішшю);
- б) безпосередня вибивка – видавлений ком потрапляє на вибивну решітку, де відбувається безпосередній процес вибивки – відділення вилівка від більшої частини формувальної суміші;

II. обрубка та первинне очищення:

- в) відділення ливникової системи - вибиті вилівки подаються пластинчастим конвеєром у галтувальний барабан. У ньому відбувається відділення ливникової системи (живильників, стояків та шлаковиків) від готової деталі;
- г) очищення виливків – після обрубки проводиться очистка виливків та зачищення їх від залишків ливниково-живильної системи та пригару. Цей процес дозволяє видалити пригар та інші поверхневі дефекти, що виникли під час формування та заливки;

III. контроль якості (проміжний та кінцевий) відіграє вирішальну роль у забезпеченні відповідності виробів стандартам:

д) комплексна перевірка включає контроль:

- хімічного складу та структури металу;
- геометричних розмірів виливків;

ж) візуальна перевірка – обов'язково виконується візуальна перевірка для виявлення поверхневих дефектів.

Успішне виконання всіх цих процесів гарантує виготовлення високоякісних виливків, які відповідають усім технічним вимогам.

6 Опис процесу проектування ливарної оснастки

Для забезпечення стабільної точності та зносостійкості в умовах великосерійного виробництва використовується суцільнометалеве оснащення. Комплект включає робочі моделі, модельні плити та стержневі ящики. Етапи виготовлення модельного оснащення для виливка «Ролик»:

I. Виготовлення та монтаж модельних комплектів. Процес створення робочих моделей базується на використанні промоделей (майстер-моделей) і складається з таких етапів:

1. виготовлення промоделей:

- промоделі відливають із сірого чавуну марки СЧ 20;
- при розрахунку геометрії враховується подвійна усадка (матеріалу робочої моделі та кінцевого виливка ВЧ 50), а також припуск на механічну обробку робочої моделі (~3,5 мм);
- фінішне доведення промоделей здійснюється слюсарним способом для досягнення еталонної чистоти поверхні;

2. монтаж на модельні плити:

- оброблені металеві напівмоделі базуються на плитах згідно з розрахованою схемою розміщення (з урахуванням габаритів опок 900 × 600 мм);
- для забезпечення ідентичності верхньої та нижньої напівформ використовується контрольний шаблон із листової сталі (товщиною 2...5 мм);

3. формування ливникової системи. Елементи ливникової системи монтуються безпосередньо на плиту згідно з гідродинамічним розрахунком. Фіксація всіх елементів (моделей та ливників) здійснюється за допомогою гвинтових з'єднань з подальшим шпатлюванням місць кріплення.

II. Виготовлення модельних плит. Основою оснащення є чавунні модельні плити товщиною 50 мм. Висока жорсткість плит запобігає пружним деформаціям під час машинного ущільнення суміші. Робоча поверхня плит проходить чистове шліфування для забезпечення щільного прилягання моделей та легкої витяжки з форми.

III. Виготовлення та конструкція стержневого ящика. Стержневе оснащення розробляється для отримання внутрішніх порожнин «Ролика» та виготовляється з алюмінієвих сплавів (для зменшення ваги та зручності маніпуляцій):

1. метод отримання. Лиття в піщані форми з урахуванням усадки алюмінію (1,25 %) та мінімальним припуском на чистове шліфування (0,4 мм);

2. конструктивні особливості:

а) ящик виконується рознімним (дві напівформи), центрованим за допомогою сталевих штирів;

б) товщина стінок корпусу становить 10 мм, що забезпечує міцність при піскоструминному або вібраційному способі виготовлення стержнів;

в) вентиляційна система. Для безперешкодного виходу повітря та запобігання утворенню «недодувів» у ящику передбачені розраховані вентиляційні канали (венти).

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Бакалаврська робота присвячена розробці комплексного технологічного процесу виготовлення виливка "Ролик" методом лиття в піщано-глинисту форму.

У межах роботи було виконано наступний комплекс інженерно-технологічних завдань:

- проведено детальний аналіз конструкції виливка "Ролик" та розроблено відповідні технічні умови (ТУ) на готовий виріб;
- визначено ключові технологічні параметри, необхідні для лиття, включаючи:
 - a) припуски на механічну обробку;
 - b) усадку ливарного сплаву;
 - c) радіуси галтелей та формувальні ухили;
- виконано підбір необхідного обладнання для виготовлення ливарних форм, а також спроектовано ливарну оснастку (модельні плити, стержневі ящики).
- розроблено та розраховано ливниково-живильну систему. Її конструкція забезпечує оптимальну швидкість заповнення форми металом, запобігаючи утворенню недоливів та дефектів усадкового характеру.

Результати роботи представляють повноцінний технологічний ланцюжок для серійного виробництва якісного виливка "Ролик".

ЛІТЕРАТУРА

1. Хричиков В. Е., Меньяло О. В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. – Видання друге, доопрацьоване. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. – 89с.
2. Власенко А. М. Матеріалознавство та технологія металів: підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти / А. М. Власенко. – К.: Літера ЛТД, 2019. – 224 с.
3. ДСТУ 3925-99. Чавун з кулястим графітом для виливків. Марки. – Введ. наказом Держстандарту України від 30 листопада 1999 р. № 380. – К.: Фізико-технологічним інститутом металів та сплавів НАН України (ТК 39), 1999. – 8 с.
4. Афтандіянц Є. Г., Зазимко О. В., Лонатько К. Г. Матеріалознавство: Підручник / Є.Г. Афтандіянц, О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько. - Херсон: Олді-плюс, Київ: Видавництво Ліра-К, 2013. – 612 с..
5. ДСТУ 8981:2020. Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення. – Введ. 2021-01-05. – К.: Технічний комітет стандартизації «Ливарне виробництво» (ТК 177), 2020. – 7 с.
6. Проектування ливарних цехів. Ч.1: підручник / Г. Є. Федоров, М. М. Ямшинський, В. Г. Могилатенко та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 588 с.
7. В.П. Сумцов. Устаткування ливарних цехів. – К.: ІСДО, 1993. – 552 с.
8. Проектування ливарних цехів. Ч.1: підручник / Г. Є. Федоров, М. М. Ямшинський, В. Г. Могилатенко [та ін.]. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 588 с.
9. Довнар, Г. В. Оборудование литейных цехов: учебно-методическое пособие для практических занятий и курсового проектирования по дисциплине «Технологическое оборудование литейных цехов» / Г.В. Довнар. – Минск: БНТУ, 2011. – 135 с.
10. І. Б. Зайгеров. Обладнання ливарних цехів. – Мінськ: Вища школа, 1980. – 368 с.
11. Гущин О. В. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин: посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 131 –

«Прикладна механіка» спеціалізації «Технології машинобудування» / О. В. Гущин.
– Краматорськ: ДДМА, 2019. – 159 с.

12. Іванова Л. Х. Литникові системи та їх розрахунки: Навч. посібник з грифом МОНУ/ Л. Х. Іванова, В. Є. Хричиков. – Дніпропетровськ: «Дніпро-VAL», 2011.– 504 с.

13. Технологія ливарної форми (ТЛФ): навч. посіб. для практ. занять і самост. роботи: для студентів галузі знань 13 "Механічна інженерія" спец. 136 "Металургія" спеціалізації "Ливарне виробництво" / А. М. Фесенко, Донбас. держ. машинобуд. акад. (ДДМА). – Краматорськ: ДДМА, 2017.– 112 с..

14. Афтанділянц Є. Г., Зазимко О. В., Лопатько К. Г., Іванова О. В. Технологія конструкційних матеріалів: Навчальний посібник в 2-х книгах. Книга 1. - К.: НУБіП, 2016. - с. 511.

15. Приходько О.В. Методичний посібник до практичних і самостійних робіт по дисциплінах «Проектування і виробництво оснастки» для студентів спеціальності 7.05040201 і «Конструювання оснастки ливарних цехів» для студентів спеціальності 7.05050202 всіх форм навчання. – Краматорськ: ДДМА, 2011. - 116 с.

ДОДАТКИ