

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 «Корпус РС 1.65-00.02» методом лиття в  
піщано-глинисту форму»**

**«Development of a technological process for  
manufacturing a casting "PC 1.65-00.02 Housing" by  
casting in a sand-clay mold»**

Виконав: здобувач вищої освіти 4-го курсу  
групи ПМ(ОЛ)-23мб-1  
Віталій Кацалап  
(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)

<b>Центральноукраїнський національний технічний університет</b>	
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  
Кацалап Віталій Вікторович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка технологічного процесу виготовлення відливка «Корпус РС 1.65-00.02» 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 «Корпус РС 1.65-00.02» 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. Корпус РС 1.65-00.02
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 \_\_\_\_\_ (Віталій КАЦАЛАП)  
вищоїосвіти  
(підпис)

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на 29 стор. друкованого тексту і містить 3 рис., 12 табл., 14 джерел.

Бакалаврська робота присвячена комплексному аналізу та розробці технології виготовлення виливка «Корпус РС 1.65-00.02» з сірого чавуну для пристрою, який призначено для транспортування важких вантажів литтям в піщано-глинисту форму. В рамках дослідження виконано:

1. аналіз конструкції деталі та визначення вимог до якості;
2. розробка технічних умов на виготовлення виливка;
3. проектування технології виготовлення відливка, включаючи вибір методу лиття та обладнання;
4. розрахунок та проектування ливниково-живильної системи;
5. розробка технології виготовлення форми;
6. характеристика матеріалів, що використовуються у виробництві;
7. розробка системи технічного контролю якості 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 3 figures, 12 tables, 14 references.

The bachelor's thesis is devoted to a comprehensive analysis and development of a technology for manufacturing a gray cast iron casting “PC 1.65-00.02 housing” for a device designed to transport heavy loads by casting into a sand-clay mold. The research includes:

1. analysis of the part design and determination of quality requirements;
2. development of technical specifications for casting production;
3. design of casting production technology, including the selection of casting method and equipment;
4. calculation and design of the gating and feeding system;
5. development of mold manufacturing technology;
6. characterization of materials used in production;
7. development of a technical quality control system for castings.

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

The subject of development was the determination of technological parameters, compilation of a description of the casting production and its formation.

The results of the design are the developed casting mold technology and the selection of modern casting equipment.

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

**VILIVOK, OPOK, ZHIVILNIK, ALLOWANCE, TOOLING, MODELING 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.....	16
4.1 Визначення габаритних розмірів опоки.....	16
4.2 Визначення оптимальної тривалості заливки.....	17
5 Опис технологічного процесу виготовлення виливка.....	21
5.1 Вибір формувальної та стержньової суміші.....	21
5.2 Формовка.....	21
5.3 Збирання форм.....	22
5.4 Заливка форм.....	22
5.5 Вибивка і обрубка.....	23
6 Опис процесу проектування ливарного оснащення.....	23
ЗАКЛЮЧЕННЯ.....	26
ЛІТЕРАТУРА.....	27
ДОДАТКИ.....	29

## ВСТУП

Ливарне виробництво залишається однією із основних заготівельних баз машинобудування. У всіх галузях машинобудування використовують литі заготовки, практично будь-якої конфігурації з мінімальними припусками на механічну обробку та високими службовими властивостями.

Основним напрямком удосконалення та розвитку виробництва є використання відомих та створення нових технологічних процесів, які дозволяють зменшити витрати матеріалів та енергії, підвищити продуктивність та покращити умови праці, усунути шкідливий вплив на навколишнє середовище і, як результат, підвищити якість та ефективність виробництва [1].

Для ливарного виробництва характерна різноманітність способів лиття, технологічних процесів, обладнання, пристроїв, матеріалів. Вона є відображенням не лише складності самого процесу, але й різноманітності деталей сучасної техніки, їх виробництва та експлуатації. Зміна якісних показників йде в напрямку отримання більш легких, складних та точних відливків за рахунок використання високоміцних, в тому числі кольорових сплавів, високоефективних технологій та оснастки.

Прогрес в техніці лиття полягає в автоматизації, удосконаленні систем виробництва та контролю якості, спрямованих на покращення умов праці, охорони навколишнього середовища, підвищення якості відливків, покращення економічних показників. Таким чином використання сучасних технологій і автоматизації дозволяє підвищувати якість відливків [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 «Корпус РС 1.65-00.02» використовуємо сплав СЧ 20 ДСТУ 8833:2019 [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 СЧ 20 ДСТУ 8833:2019

Марка чавуну	Густина, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Лінійна усадка, $\epsilon$ , %	Ливарна усадка, $\beta$ , %	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, $\alpha$ , в інтервалі температур від 20 °С до 200 °С включно, $\alpha \times 10^{-6}/K$	Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda$ , за 20 °С, Вт/(м·К)
СЧ 20	7100	0,9 – 1,3	0,8 – 1,0	850 - 1100	480	9,5	54

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сплаву СЧ20 ДСТУ 8833:2019

Сплав	Межа міцності на розрив $\sigma_r$ , МПа, не менше ніж	Відносне подовження, %	Твердість по Брінеллю, НВ, не більше ніж
СЧ 20	200	0,40 - 0,70	143 - 255

Таблиця 1.3 – Хімічний склад сплаву СЧ20 за ДСТУ 8833:2019

Елементи	C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %
В межах	3,30 - 3,50	1,40 - 2,40	0,70 - 1,00	< 0,15	< 0,20
Середнє	3,40	2,30	0,70	0,15	0,20

Сірий чавун залишається одним із найбільш затребуваних конструкційних матеріалів у ливарному виробництві. Попри обмежену пластичність та низький опір розриву, він має унікальний комплекс експлуатаційних характеристик, які роблять його незамінним для виготовлення станин, корпусів та деталей, що працюють на тертя.

Властивості сірого чавуну безпосередньо залежать від процесу графітизації, на який впливають:

1. хімічний склад. Наявність графітізуючих елементів, перш за все кремнію (Si). Також позитивно впливають нікель (Ni) та мідь (Cu), тоді як марганець (Mn) виступає регулятором структури металевої основи;
2. швидкість охолодження. Повільне охолодження (масивні стінки виливка, піщані форми) сприяє повному виділенню вуглецю у вигляді графіту. Прискорене охолодження може призвести до "відбілу" - утворення твердого, але крихкого цементиту;
3. металева основа. Залежно від ступеня графітізації, основа може бути трьох типів:
  - a) феритна (найнижча міцність, висока оброблюваність);
  - b) ферито-перлітна (збалансовані властивості);
  - c) перлітна (максимальна міцність та зносостійкість).

Для подолання природної крихкості сірого чавуну застосовують модифікування (введення в розплав феросиліцію або силікокальцію). Результати модифікування:

1. подрібнення графіту. Пластинки стають дрібнішими та розподіляються рівномірно, що зменшує їхню роль як "внутрішніх надрізів" у металі;
2. зростання міцності. Матеріал краще витримує навантаження на розтяг та вигин;
3. стабільність властивостей. Забезпечується однорідність структури у деталях з різною товщиною стінок.

Ключові експлуатаційні переваги сплаву СЧ 20 наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Ключові експлуатаційні переваги сплаву СЧ 20

Властивість	Значення для промисловості
Демпфувальна здатність	Найкраща серед металів здатність поглинати вібрації та резонанс (ідеально для станин верстатів)
Зносостійкість	Графіт діє як сухе мастило, що знижує коефіцієнт тертя в парах ковзання
Міцність на стиск	Витримує колосальні статичні навантаження, перевершуючи за цим показником деякі сталі
Технологічність	Чудова рідкоплинність при литті та легкість обробки різанням (стружка легко ламається)
Корозійна стійкість	Природна стійкість до атмосферної корозії завдяки захисній плівці оксидів та графіту

Грамотне поєднання хімічного складу та швидкості охолодження дозволяє отримувати виливки, які за надійністю не поступаються дорожчим матеріалам, зберігаючи при цьому низьку собівартість виробництва.

## **2 Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок**

Виливок «Корпус РС 1.65-00.02» має точність 9-0-0-9 ДСТУ 8981:2020, виготовляється із СЧ 20 за ДСТУ 8833:2019 [4]. Мікроструктура чавуну П70 (Ф30) - П92 (Ф8) ДСТУ EN ISO 945-1:2022 [5] форма перліту - зернистий перліт. Довжина включень пластинчастого графіту не довше 220 мкм. Незазначені ливарні ухили - 1...3°, радіуси 1...5 мм. Різностінність не більше 15 мм, короблення не більше 2 мм, перекіс по роз'єму до 2 мм. На оброблюваних поверхнях допускаються ливарні дефекти в межах 2/3 припуску на механічну обробку. На необроблюваних поверхнях ливарні раковини глибина до 1,5 мм діаметром до 2,5 мм. що не виходять на кромки, що не впливають на працездатність деталі. У місцях спряження стержня і форми допускається присутність кільцевих заусениць довжиною до 1,5 мм. Відливки повинні бути очищені до металевого блиску від формівної суміші, пригару і звільнені від живильників. Корозія не допускається. Базові поверхні повинні бути чистими без напливів і наростів.

Деталь «Корпус РС 1.65-00.02» представляє собою частину пристрою, який призначено для транспортування важких вантажів. Маса деталі 10,66 кг, габаритні розміри 191,2 × 171,9 × 172 мм, твердість 143...255 НВ.

Оброблюваними поверхнями являються посадкові місця на вал, верхня і нижня плоскі поверхні. Інші поверхні не оброблюються. Даний відливок є технологічним. Зовнішня поверхня відливка представляє собою прямолінійні контури, зчленовані плавними переходами, які забезпечують деяку деформацію відливка при його усадці під час охолодження у формі і зниження залишкових напружень в місцях спряження прямолінійних ділянок. Відливок має один стержень, немає з'ємних частин, роз'єм моделі і форми один.

Припуски на механічну обробку передбачаємо на робочих внутрішніх поверхнях у на верхній 2 мм, і нижній 2 мм.

Для запобігання руйнування стержня під час збирання форми передбачаємо зазори між знаками стержня і форми. Нижній знак - бокові зазори 0,15 мм, верхній знак - бокові зазори 0,15 мм. Верхні і нижні 0,25 мм. Уклони стержневих знаків верхнього і нижнього по 2°.

Для запобігання залипання формувальної суміші у кутах внутрішніх спряжень поверхонь передбачаємо округлення R5

### 3 Розробка технологічного процесу виготовлення виливка

#### 3.1 Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів

Для плавки сплаву марки СЧ 20 обираємо тигельну індукційну піч промислової частоти ІСТ-1,5/800 [6], технічна характеристика якої наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика тигельної індукційної печі промислової частоти марки ІСТ-1,5/800

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Установлена потужність	кВт	800
Частота струму живлячої мережі	Гц	50
Частота струму контурного ланцюга	Гц	800-1000
Номінальна ємність	т	1,5
Температура перегріву	°С	1600
Число фаз живлячої мережі	шт	3
Число фаз контурного ланцюга	шт	1
Номінальна напруга живлячої мережі	В	6000
Номінальна напруга контурного ланцюга	В	2000
Номінальна напруга ланцюга управління	В	380/220
Номінальна напруга гідропривода	В	380/220
Питома витрата електроенергії на розплавлення і перегрів	кВт ч/т	625±40
Витрата води на охолодження при відмінності температур на вході 20°С	м <sup>3</sup> /ч	7,8±0,6
	м <sup>3</sup> /ч	3,0±0,2
	м <sup>3</sup> /ч	3,6±0,2

Плавка проводиться по затвердженим інструкціям. В період ведення плавки потрібно дотримуватися нижче наведених правил.

Після завантаження шихтою тигля, перед включенням печі, необхідно подати воду в індуктор та інші елементи установок, котрі мають водяне охолодження.

Управління режимом плавки відбувається з шафи управління «тиристорним перетворювачем ТПЧ». В разі порушення водоохолодження «тиристора», автоматично знімається напруга з печі. На щиті загорається відповідна сигнальна лампа, і тигель повинен бути звільнений від рідкого металу.

Закінчення плавки визначається, коли досягнуто потрібний хімічний склад металу, а також температурна готовність розплавленого металу відповідає нормі.

Після закінчення плавки і зняття напруги з печі, можна приступати до нахилу печі і розливу металу. Нахил печі виконується рівномірно, наглядаючи за струменем металу. Готовий метал зливають у ківш, який добре висушений і підігрітий. Після злиття металу, піч повертають в попереднє положення і плавка може бути повторена знову.

Оптимальним режимом роботи електропечі являється тризмінний режим роботи, в окремих випадках можлива періодична робота. Але часті тривалі перерви негативно впливають на стан футеровки тигля, зменшуючи строк її служби. Тому електропіч допускається зупиняти на час, який не перевищуватиме 3годин. При цьому рекомендується в тиглі залишати «болото», тигель закривають азбестовим листом, а витрата води зменшується до мінімуму.

Якщо тривала перерва перевищує 3 години, то метал зливають повністю, а тигель очищають і після цього необхідно організувати підігрів тигля пальником ( $T = 700...800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Це допоможе компенсувати втрати температури і забезпечити правильну температуру чавуну під час заливки форми. Врахування цих втрат температури є важливим кроком для забезпечення якості виготовлення виливків і попередження можливих дефектів.

Рекомендована температура заливки сірого чавуну з врахуванням втрат тепла складає від 1460 до 1340  $^{\circ}\text{C}$ .

Для виготовлення даного виливка застосовуємо автоматичну ливарну лінію AFRB [7]. В табл. 3.2 наведено технічну характеристику лінії.

Таблиця 3.2 - Технічна характеристика автоматичної лінії AFRB

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Розмір опок	мм	750 × 555
Висота ВО/НО	мм	150/150
Ущільнення суміші		Повітряний імпульс + пресування
Продуктивність лінії, середня	форм/год	35
Продуктивність формувальної машини	форм/год	40
Час на опоку	с	45
Зусилля пресування, макс.	кН	620
Тиск стисненого повітря	бар	6
Витрата стисненого повітря	м <sup>3</sup> /форм	0,96

Формувальна лінія складається з: розпакувальника, рольгангу, формувальної машини, кантувача, рольгангу (кантувач-складальник), складальника, передавального пристрою, електроуправління, гідросистеми, пневмосистеми.

Конвеєр завжди зупиняється в позиції розпакувальника з попередньо заданим допуском. Достатньо охолоджені опоки надходять до розпакувальника, де вони: прибираються з конвеєра, центруються, звільнюються, очищуються.

Верхня опока відділяється від нижньої і встановлюються кожна окремо на рольганг. Далі верхня і нижня опоки транспортуються по рольгангу до формувальної машини. В формувальній машині опоки заповнюються формувальним матеріалом, який ущільнюється за допомогою стисненого повітря.

Після пресування, ущільнення і розгладжування опоки подаються на кантувальник. На поворотному пристрої нижня опока повертається на 180° і встановлюється на рольганг. Верхня опока повертається на 90°, щоб забезпечити візуальний контроль якості формовки. Далі опоки надходять на проміжний рольганг, де в перевернуту нижню опоку можуть бути встановлені стержні. Для зручності виконання цих робіт передбачена площадка. Далі опоки транспортуються до складальника. На цій установці верхня опока встановлюється на нижню і транспортується до передаточного пристрою. Передаточний пристрій – місце, де опоки за допомогою підйомного пристрою, знімаються з формувальної лінії і встановлюється на конвеєр. Після заливки форми відливки охолоджуються і твердіють під час пересування по рольгангам з ділянки заливки до ділянки вибивки. Протягом цього періоду у відливках закінчуються всі перетворення. Вибивка чавунних відливок відбувається при температурі 200 °С.

Після охолодження форми направляються на ділянку вибивки. Опoki автоматично зіштовхуються з плити ливарного конвеєра штовхачем, і форма видавлюється пресом на вібраційну решітку. Тут руйнуються спресовані грудки суміші. Після цього суміш поступає по лотку на транспортер.

Виливки потрапляють в галтувальний барабан моделі 41212 [8] для остаточного відділення від суміші, технічна характеристика якого наведена в табл. 3.3.

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

Таблиця 3.3 – Технічна характеристика галтувального барабана моделі 41212

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність	т/год	5
Частота обертання бпрпбану	об/хв	8,5
Габаритні розміри	мм	7640 × 2570 × 2440
Маса	кг	15450
Потужність електродвигуна	кВт	22

Для остаточної очистки виливок застосовується дробометний барабан періодичної дії моделі 42216М, технічна характеристика якої наведено в табл. 3.4 [8].

Таблиця 3.4 – Технічна характеристика дробометного барабану моделі 42216М

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність, т/год	т/год	10,5
Маса очищених відливків	кг	400
Дробометний апарат: число обертів	об/хв	2500
діаметр дробу	мм	1,5...2,0
Кількість дробометних барабанів	шт	1
Діагональ оброблюваних виливків	мм	600
Продуктивність одного апарата за дробом	кг/хв	800
Кількість відсмотуваного повітря	м <sup>3</sup> /год	20600
Встановлена потужність	кВт	79,5
Габаритні розміри: довжина × ширина × висота	мм	6000 × 6200 × 6000
Маса	кг	34000

Виливки зачищаються абразивними кругами з метою видалення заливів, заусениць, перекосів, нерівностей поверхонь і здійснюється на стаціонарних зачисних верстатах 4625, технічна характеристика яких наведено в табл. 3.5 [9].

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика зачисного верстата 4625

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Розміри зачищеного виливка	мм	500 × 500 × 400
Продуктивність	т/год	0,3
Маса зачищених виливків	кг	до 50
Потужність	кВт	75
Габаритні розміри	мм	5310 × 3476 × 3860

Контроль якості виливків здійснюється зовнішнім оглядом персоналом Бюро технічного контролю (ВТК) цеху. 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 та стержневої суміші використовуємо змішуючі бігуни періодичної дії моделі 15104М [9] (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Технічна характеристика змішуючих бігунів періодичної дії моделі 15104М

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Об'єм замісу	м <sup>3</sup>	0,8...1,1
Тривалість циклу	хв	2...10
Продуктивність	т/год	4,8...30
Габаритні розміри в плані	мм	∅ 2015
Потужність	кВт	45
Маса	кг	9800

### 3.2 Визначення положення виливка у формі

Для виготовлення деталі «Корпус РС 1.65-00.02» обрано горизонтальне положення виливка під час заливання з розташуванням основної осі симетрії у площині роз'єму форми. Дане рішення є оптимальним для умов масового виробництва на автоматичних лініях і базується на наступних чинниках:

1. Оптимізація площини роз'єму. Поверхня роз'єму моделі та форми є єдиною площиною, що збігається з горизонтальною віссю симетрії деталі. Це забезпечує:

а) уніфікацію оснащення - можливість використання стандартних модельних плит на високопродуктивних формувальних пресах (наприклад, В-440М);

б) технологічність - спрощення процесу виготовлення форми та стабільність її геометрії;

2. Спрощення конструкції модельного комплекту. Обрана конфігурація дозволяє виконувати вилучення моделі з напівформ без використання додаткових знімних частин (сухарів) або складних підрізків і як результат - підвищення точності відбитку, зниження трудомісткості виготовлення оснащення та збільшення терміну його експлуатації.

3. Раціональний розподіл у напівформах. Симетричне розташування виливка у верхній та нижній напівформах створює оптимальні умови для протікання технологічного процесу:

а) рівномірне ущільнення. Досягається стабільна твердість формувальної суміші по всьому контуру деталі, що критично важливо для запобігання роздуттям виливка;

б) надійне базування стержнів. Стержневі знаки розташовуються у площині роз'єму, що гарантує стійку фіксацію та унеможливорює зміщення (вспливання) стержнів під дією гідродинамічного тиску розплаву;

с) контролепридатність. Спрощується візуальна перевірка цілісності порожнини форми та правильності простановки стержнів перед операцією складання (спарювання).

Застосована схема роз'єму мінімізує ризики виникнення дефектів типу «перекіс» та «зміщення», забезпечуючи стабільну товщину стінок виливка із сірого чавуну СЧ 20 відповідно до вимог розмірної точності.

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

Для деталі «Корпус РС 1.65-00.02» припуск на механічну обробку приймаємо 3 мм відповідно до вимог ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення вибираємо згідно [4].

Припуск на ливарну усадку виражається в процентах від розміру відливка. Значення величини ливарної усадки для чавуну СЧ 20 складає 1 % [10].

Величину радіуса заокруглень вибираємо в межах 1/5...1/3 середнього арифметичного товщини спряжених стінок. Для виливка «Корпус PVC 1.63-00.01» не вказані радіуси складають 3 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. Величини ухилів складає 1...3°.

## **4 Розрахунок і конструювання ливникової системи**

### **4.1 Визначення габаритних розмірів опоки**

Для забезпечення заданої точності виливків та стабільності технологічного процесу, розрахунок габаритів опок базується на комплексному аналізі таких чинників:

1. геометричні параметри виливків. Габаритні розміри деталі «Корпус РС 1.65-00.02» є базовими вихідними даними для визначення корисної площі форми та висоти напівформ;

2. серійність та компоновання. З метою підвищення продуктивності обрано багатомісну схему (2 вилвки у формі). Це рішення безпосередньо визначає необхідний об'єм формувальної суміші та площу дзеркала заливки;

3. гідродинаміка ливникової системи. Конструкція опоки передбачає резервування простору для розміщення елементів підведення розплаву (стояка, шлаковловлювача та живильників), що забезпечує ламінарне заповнення порожнини;

4. оптимізація розміщення на модельній плиті:

а) металоємність. Розташування моделей розраховане для досягнення максимального коефіцієнта використання площі плити при збереженні термічної стійкості форми;

б) технологічні перетинки. Дотримання нормативних відстаней між моделями та від стінок опоки до моделей є критичним для запобігання розмиву суміші, прориву металу та деформації стінок під дією гідростатичного тиску.

На основі проведених розрахунків встановлено, що оптимальні габарити опок складають  $500 \times 400 \times 150$  мм, що забезпечує необхідну жорсткість форми та раціональне використання формувальних матеріалів.

#### 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 [11].

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

Розраховуємо сумарну площу живильників за формулою Озанна-Діттерта:

$$\sum F_{ж} = \frac{G}{\rho \cdot t \cdot v} = \frac{G}{\rho \cdot t \cdot \mu \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}} = \frac{26,65}{7000 \cdot 12 \cdot 0,78} = 4,06 \text{ см}^2 \quad (4.1)$$

де  $G$  - металоемність форми, кг;

$\rho$  - густина розплаву  $\rho = 7000 \text{ кг/м}^3$  [12];

$t$  - тривалість заливки, с;

$v$  - швидкість заповнення форми м/с;

$\mu$  - коефіцієнт опору;

$g$  - прискорення вільного падіння м/с<sup>2</sup>;

$H_p$  - статичний напір, м.

Величину статичного напору визначаємо за формулою:

$$H_p = H - \frac{P^2}{2 \cdot c} = 150 - \frac{104,1^2}{172} = 8,7 \text{ мм} = 0,087 \text{ м} \quad (4.2)$$

де  $H$  - висота стояка від місця підведення металу в форму, мм;

$c$  - висота відливка, мм,

$P$  - висота відливка від місця підведення розплаву в форму, мм.

Визначаємо масу металу що заливається в форму, кг:

$$G = (m_{тв} + m_{мл}) \cdot n, \quad (4.3)$$

де  $m_{тв}$  - маса відливка кг;

$m_{мл}$  - маса ливників кг;

$n$  - кількість виливків у формі шт.

Тоді:

$$G = (10,66 + 2,66) \cdot 2 = 26,65 \text{ кг.}$$

Визначаємо тривалість заливки:

$$t = s \sqrt[3]{G \delta} = 1,7 \sqrt[3]{26,65 \cdot 26} = 12 \text{ с}, \quad (4.4)$$

де  $t$  - час заливки форми, с;

$s$  - коефіцієнт, який залежить від марки сплаву, товщини перерізу стінки та конфігурації вилівка (для сплавів: чавунних  $s = 1,7...2,0$ ) [12];

$G$  - маса відливка з ливниковою системою, кг;

$\delta$  - середня товщина стінок відливка, мм.

Визначаємо площу перерізу одного живильника:

$$F_{ж} = \frac{\sum F_{ж}}{n} = \frac{4,06}{2} = 2,03 \text{ см}^2 \quad (4.5)$$

де  $F_{ж}$  - площа живильника;

$\sum F_{ж}$  - сумарна площа живильників;

$n$  - кількість живильників;

Визначаємо розміри живильників, прийнявши форму перерізу-трапеція. Висота живильника 8 мм, верхня основа трапеції 36 мм, нижня основа трапеції 33 мм.

Уточнюємо площу перерізу живильника з урахуванням прийнятих розмірів (рис 4.1.).

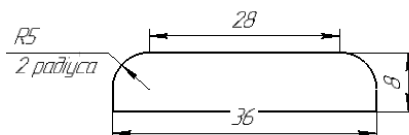


Рисунок 4.1 - Переріз живильника

По співвідношенню визначаємо сумарну площу перерізу шлаковловлювача і стояка:

$$\sum F_{жс} : \sum F_{ш} : \sum F_{ст} = 1 : 1,5 : 1,2, \quad (4.6)$$

де  $\sum F_{ст}$  - сумарна площа стояка;

$\sum F_{ш}$  - сумарна площа шлаковловлювача.

Визначаємо сумарну площу перерізу шлаковловлювачів:

$$\sum F_{ш} = 1,1 \sum F_{ж} = 1,1 \cdot 4,06 = 4,47 \text{ см}^2$$

Визначаємо площу перерізу одного шлаковловлювача:

$$F_{ш} = \frac{\sum F_{ш}}{n} = \frac{4,47}{2} = 2,235 \text{ см}^2 \quad (4.7)$$

де  $F_{ш}$  - площа шлаковловлювача;

Визначаємо розмір шлаковловлювача, прийнявши форму перерізу-трапеція. Висота 28 мм, верхня основа трапеції 7 мм, нижня основа трапеції 14 мм. (рис 4.2.)

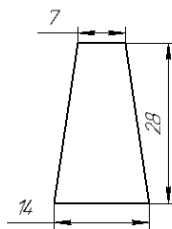


Рисунок 4.2 - Переріз шлаковловлювача.

Визначаємо площу стояка:

$$\sum F_{ст} = 1,2 \sum F_{ж} = 1,2 \cdot 4,06 = 4,87 \text{ см}^2 \quad (4.7)$$

Визначаємо діаметр стояка (рис. 3.3.):

$$d_{ст} = \sqrt{\frac{4F_{ст}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,87}{3,14}} = 2,85 \text{ см} \quad (4.8)$$

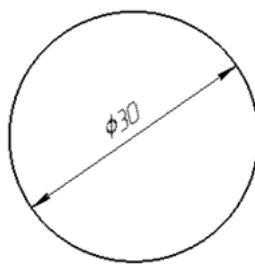


Рисунок 4.3 - Переріз стояка.

Приймаємо діаметр стояка - 30 мм

Уточнюємо площу перерізу стояка з урахуванням прийнятих розмірів:

$$\sum F_{cm} = \frac{\pi d_{cm}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} = 7 \text{ см}^2 \quad (4.9)$$

де d - діаметр стояка.

## 5 Опис технологічного процесу виготовлення виливка

### 5.1 Вибір формувальної та стержневої суміші

У масовому і серійному виробництві рекомендується використовувати єдину формувальну суміш з підвищеною рідинотекучістю. Склад та механічні властивості формувальної та стержневої суміші приведені у табл. 5.1, 5.2 [13].

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

Назва матеріалу	Кількість			Характеристики суміші		
	В об'ємних відсотках	В одиничних об'ємах, (кг)	У масових одиницях, %	Газопрон. ум. од.	Межа міцності при стисканні у вологому стані, МПа	Масова доля вологи, %
1) Відпрацьована формувальна суміш	98,76	990	98,9	не менше 85	0,05...0,08	3,5...4,5
2) Бентонітова глина	0,2	3,04	0,3			
3) Пісок кварцовий	1,04	8	0,8			
Всього	100	1016,04	100			
4) Вода технічна	1,5	15,0	1,5			
5) Добавка МК-10ЛА	0,08	0,8	0,08			

Таблиця 5.2 - Склад стержневої суміші і її фізико-хімічні властивості

№ п/п	Компоненти	Рецепт 1	Рецепт 2	Рецепт 3
		кількість	кількість	кількість

		%	кг	%	кг	%	кг
1	Пісок кварцовий	100	20	100	20	100	20
2	Газхварц 7241	0,8	0,160	0,7	0,140	0,6	0,120
3	Активатор 6324	0,8	0,160	0,7	0,140	0,6	0,120

## 5.2 Формовка

Ливарні форми для відливки «Корпус РС 1.65-00.02» одержують машинною формовкою. За допомогою машин механізовано дві основні операції - ущільнення, видалення моделі з форми. Процес виготовлення форм в перших опоках іде таким шляхом:

1. формувальна суміш подається в бункери встановлені над машиною;
2. порожні опоки подаються за допомогою рольгангів;
3. нижню і верхню напівформи виготовляють на різних машинах;
4. потім за допомогою дозатора заповнюють опоки формівною сумішшю з бункера;
5. далі суміш ущільнюють, готову напівформу кантують, знімають надлишок суміші і виконують обдув форми;
6. Потім напівформи транспортують на збирання.

## 5.3 Збирання форм

Точність збирання в значній мірі визначає точність геометричних розмірів відливки. В об'єм робіт по збиранню форми входять такі операції:

- 1) збирання форми;
- 2) спарювання верхньої та нижньої опок.

## 5.4 Заливка форм

Температура чавуну при заливці повинна бути 1350...1420 °С. Заливка

може виконуватись з рухомою і нерухомою формою. Розплавлений метал з печі потрапляє у попередньо нагрітий ківш барабанного типу ємністю 1т, який транспортується краном. Цей ківш встановлюють на спеціальному стенді для подальшої роздачі металу в розливні ковші.

Для заливки металу використовують ковші чайникового типу ємністю 250 кг. Перед заливкою металу, потрібно видалити шлак з розливного ковша. Підводимо ківш і встановлюємо носок ковша над ливниковою чашею на відстані 150...200 мм. При заливці швидко заповнити металом ливникову чашу і тримати її заповненою до кінця заливки форми. Забороняється переливати чашу, недолив чаші дозволяється - 20 мм. Заливка повинна бути безперервною. Після заливки залишки металу повинні зливатись у спеціальні форми.

### **5.5 Вибивка і обрубка**

Залиті та охолоджені форми подаються на вибивний пристрій. Коливання решітки передається суміші і відливкам. В цих умовах суміш інтенсивно розсипається і проходить в отвори решітки, та поступає на подальшу переробку. Відливки ковзають на пластинчатий конвеєр рухаючись по якому вони охолоджуються, подають в галтувальний барабан в якому відділяється ливникова система.

Потім відливки поступають в дробометні барабани де вони позбавляються від пригару. Після цієї операції відливки проходять зачистку від заусениць на наждачних верстатах.

## **6 Опис процесу проектування ливарної оснастки**

При крупносерійному і масовому виробництві для збільшення строку служби моделей, їх необхідно виготовляти металевими. Заготовки металевих моделей отримують литтям у піщані форми по дерев'яним моделям (промоделям). Промоделі виготовляються з припуском на механічну обробку моделі і відливки, а

також з урахуванням усадки сплаву моделі. Модель виготовляється із чавуну марки СЧ 20. Обробляються моделі вручну, припуск на механічну обробку відливка - 3,5 мм. Товщину тіла моделі визначають із номограми в залежності від габаритів моделі. З урахуванням малих габаритних розмірів відливка модель відпивається суцільною. Після механічної обробки моделі монтуються на раніше підготовані промодельні плити [14]. При монтажі напівмоделей на плити необхідно враховувати розміри опок. Контур опоки в світлі 750 × 555 мм. Таким чином обидві промоделі розташовуються на плиті так, щоб відстань від напівмоделей до країв складала не менше 50 мм. Ливникова система монтується у відповідності з кресленням ливникової системи. Кріплення моделей і ливникової виконується гвинтами. Монтаж моделей на плитах виконується за допомогою монтажного шаблону, виготовленого з листової сталі товщиною 2...5 мм [14].

Модельні плити виготовляються із чавуну. Товщина плит складає 30 мм так як вони повинні витримувати навантаження при формовці. Робоча поверхня плит повинна бути оброблена. На підготовлені плити накладається монтажний шаблон, встановлюються напівмоделі і просвердлюються отвори для кріплення. Напівмоделі являються кондукторами, отвори свердляться одночасно і в плиті і в моделі. Потім плита з отворами накладається на іншу плиту і в останній просвердлюються отвори. На плиту встановлюються напівмоделі і кріпляться гвинтами. Після кріплення моделей устанавлюється ливникова система. До плити для нижньої напівформи кріпляться моделі живильників, а на верх - моделі шлаковловлювачів. Підмодельні плити повинні мати елемент спарювання з опоками. На одній плиті повинні бути: з однієї сторони - центруючий, з іншої направляючий штирі. На другій плиті необхідно мати відповідно центруючий і направляючий отвори. Модельні плити на формувальній машині кріпляться за допомогою болтів.

Для виготовлення стержнів піскострільним способом застосовують алюмінієвий стержневий ящик. Заготовку ящика отримуємо литтям у піщані форми по дерев'яним моделям.

При виготовленні моделі ящика необхідно врахувати усадку алюмінієвого сплаву. Також враховуємо припуск на механічну обробку ящика, який при зачистці складає 0,4 мм. Для визначення товщини тіла стержневого ящика необхідно знати габаритні розміри. Товщину стінок ящика визначаємо із номограми [14]. Для стержневих ящиків із алюмінієвих сплавів товщина стінок складає 10 мм. По таблицям [14] визначаємо товщину ребер жорсткості і радіус гантелей. При товщині стійок стержневого ящика 10 мм товщина ребер жорсткості складає 10 мм, а радіус гантелей рівний 5 мм. Стержневий ящик вшивається у відповідності з розмірами I піддається механічній обробці. Площина роз'єму ящика шліфується для якісного прилягання обох половин ящика одна до одної. Половини ящика з'єднуються за допомогою шлірів.

Для видалення повітря із ящика при виготовленні стержня, встановлюються венті.

## ЗАКЛЮЧЕННЯ

Бакалаврська робота присвячена розробці комплексного технологічного процесу виготовлення виливка «Корпус РС 1.65-00.02» методом лиття в піщано-глинисту форму.

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

- проведено детальний аналіз конструкції виливка «Корпус РС 1.65-00.02» 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 «Корпус РС 1.65-00.02».

## 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 8833:2019. Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови. – Введ. 2020–01–01. – К.: Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, 2019. – 10 с.
4. 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.
5. ДСТУ EN ISO 945-1:2022 Мікроструктура чавунів. Частина 1. Класифікація графіту візуальним аналізуванням (EN ISO 945-1:2019, IDT; ISO 945-1:2019, IDT). – Введ. 2023–12–31. – К.: ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»), 2022. – 8 с.
6. Конструкційні матеріали і технології : навчальний посібник / Будяк Р. В., Посвятенко Е. К., Швець Л. В., Жученко Г. А. - Вінниця : ФОП Т. П. Барановська, 2020. - 240 с.
7. Проектування ливарних цехів. Ч.1: підручник / Г. Є. Федоров, М. М. Ямшинський, В. Г. Могилатенко [та ін.]. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 588 с.
8. Довнар, Г. В. Обладнання ливарних цехів: навчально-методичний посібник для практичних занять і курсового проектування з дисципліни «Технологічне обладнання ливарних цехів» / Г.В. Довнар. – Мінськ: БНТУ, 2011. – 135 с.
9. В.П. Сумцов. Устаткування ливарних цехів. – К.: ІСДО, 1993. – 552 с.
10. 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.

11. 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.

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 ливарного виробництва [Електронний ресурс]: підручник / Ю. І. Категоренко [та ін.]; під ред. Ю. І. Категоренко, В. М. Міляєва. 2<sup>-е</sup> вид., перероб. і доп. Єкатеринбург: Вид-во Рос. держ. проф. пед. ун-ту, 2018. – 684 с.

14. 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**