

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 «Боковина» методом лиття в піщано-  
глинисту форму»**

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

Виконав: здобувач вищої освіти 4-го курсу  
групи ПМ-22-1

Сергій Сокур

(прізвище та ініціали)

ОПП «Комп'ютерний інжиніринг  
технологій, робототехніка і 3D друк \_\_\_\_\_»  
спеціальності 131 «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	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 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**

Сокур Сергій Леонідович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка технологічного процесу виготовлення відливка «Боковина» 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 «Боковина» 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. Боковина
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 \_\_\_\_\_ (Сергій СОКУР)  
(підпис)

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на 28 стор. друкованого тексту і містить 6 рис., 12 табл., 16 джерел.

Бакалаврська робота присвячена комплексному аналізу та розробці технології виготовлення виливка «Боковина» 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 consists of 28 pages of printed text and includes 6 figures, 12 tables, and 16 references.

This bachelor's thesis is devoted to a comprehensive analysis and development of the manufacturing technology for a "side panel" casting made of gray cast iron for a device designed to transport heavy loads by casting into a sand-clay mold. The following tasks were completed as part of the research:

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

Each stage was thoroughly addressed to ensure high-quality and efficient production.

The scope of the project was to determine the technological parameters and compile a description of the casting production and its molding.

Design results: a mold-making technology has been developed, and modern casting equipment has been selected.

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

**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.....	14
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.....	20
5.4 Заливка форм.....	21
5.5 Вибивка і обрубка.....	21
6 Опис процесу проектування ливарного оснащення.....	22
ЗАКЛЮЧЕННЯ.....	25
ЛІТЕРАТУРА.....	26
ДОДАТКИ.....	28

## ВСТУП

Ливарне виробництво, від плавлення металу до контролю якості, є невід'ємною частиною машинобудування [1]. Попри широке застосування лиття в піщані форми, зростаючі вимоги до якості та точності деталей зумовлюють необхідність модернізації виробництва. Це включає впровадження сучасних технологій, автоматизацію, що дозволяє оптимізувати процеси, знизити витрати та покращити екологічність виробництва [2].

Розвиток техніки висуває вимоги, що безперервно підвищуються до якості виливків. Сучасні виливки повинні мати високі регламентовані механічні властивості, фізичні та хімічні характеристики, а також високу точність за мінімальної товщини стінок, масі та собівартості. Найважливішою проблемою є підвищення екологічної чистоти ливарної технології та поліпшення умов праці.

Технічний прогрес і поява новітніх видів машин і виробів зумовлюють розробку прогресивних способів лиття, що забезпечують виконання вимог до виливків, які безперервно зростають. В даний час зафіксовано близько 60 різних способів лиття, які застосовуються на практиці. Кожен спосіб лиття має свої достоїнства і недоліками та має свої найефективніші сфери застосування.

Знання теоретичних основ і технологічних принципів різних способів лиття, а також уміння способів лиття, а також уміння розробляти й організувати технологічні процеси з використанням відповідного технологічного обладнання та оснащення є найважливішими кваліфікаційними вимогами до фахівця-ливарника з вищою освітою

## 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 вилівок «Боковина» 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 – важливий конструкційний матеріал, який, незважаючи на низький опір відриву та практично відсутнє подовження, що свідчить про його обмежену пластичність і схильність до руйнування під навантаженням, знаходить широке застосування у виробництві вилівок. Його обмеження можуть впливати на використання у виробках, що вимагають високих механічних властивостей або значної пластичності. Однак, правильний вибір методів використання та обробки цього матеріалу дозволяє досягти високої якості та ефективності виготовленої продукції.

Фактори, які впливають на структуру та властивості сірого чавуну:

- 1) графіт у сірому чавуні має пластинчасту форму і відіграє ключову роль у визначенні його механічних характеристик. Утворення графіту (процес графітизації) під час кристалізації чавуну стимулюється такими елементами, як кремній (Si), нікель (Ni), мідь (Cu) та інші. Найважливіший вплив на графітизацію мають кремній і марганець;
- 2) швидкість охолодження також суттєво впливає на ступінь графітизації – повільне охолодження (наприклад, завдяки зміні матеріалу форми або збільшенню товщини стінки вилівка) сприяє більшому виділенню вуглецю у формі графіту, підвищуючи ступінь графітизації;
- 3) ступінь графітизації визначає структуру металевої основи сірого чавуну. Залежно від кількості вуглецю, що міститься у зв'язаному стані (у вигляді цементиту), розрізняють чавуни з феритною, ферито-перлітною та перлітною основами. Кожна з цих структур має унікальні механічні властивості, що обумовлює їх придатність для різних промислових застосувань.

Модифікація структури сірого чавуну може значно покращити його експлуатаційні характеристики. Додавання модифікаторів, таких як феросиліцій або силікокальцій, сприяє формуванню дрібніших та більш однорідних графітових структур. Це має важливе значення для:

- підвищення міцності: дрібна та однорідна графітова структура робить матеріал більш стійким до руйнування під навантаженням;
- покращення зносостійкості: сприяє довговічності матеріалу під час виробництва та експлуатації.

Такі модифікації відкривають нові можливості для застосування сірого чавуну в різних галузях і дозволяють виготовляти високоякісні вилівки та деталі.

Сірий чавун є універсальним і популярним матеріалом завдяки ряду цінних властивостей:

- здатність поглинати вібрацію – ця властивість важлива для деталей, що працюють під значними механічними навантаженнями або вібрацією (наприклад,

корпуси машин, станини), оскільки вона зменшує вплив вібрації та продовжує термін служби компонентів;

- зносостійкість – висока зносостійкість робить його ефективним для деталей, які піддаються тертю або зношуванню (наприклад, бандажі, гальма);
- міцність на стискання – відмінний матеріал для компонентів, що витримують великі механічні навантаження на стиск (наприклад, циліндри або корпуси);
- оброблюваність – чудова оброблюваність дозволяє легко виготовляти складні деталі та вигини;
- стійкість до корозії – хоча сірий чавун може бути вразливим у деяких середовищах, він має досить хорошу стійкість до корозії порівняно з багатьма іншими металами.

Узагальнюючи, сірий чавун залишається незамінним у багатьох галузях виробництва завдяки унікальному поєднанню його механічних, технологічних та експлуатаційних властивостей.

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

Виливок «Боковина» має точність 11Т-0-0-10 ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення [4], група 2, виготовляється із чавуну СЧ20 за ДСТУ 8833:2019 [3]. Зміщення по лінії роз'єму більше 2 мм не допускається. На оброблених поверхнях допускаються одиничні раковини довжиною не більше 1/3 кола, шириною не більше 5мм, або мілкі раковини найбільшим розміром 3 мм в кількості не більше 5 шт. На необроблених поверхнях допускаються одиничні раковини розміром не більше 9 мм, глибиною не більше 4 мм і в кількості не більше 8 штук на поверхню.

Виливок має три отвори, поверхня яких в подальшому обробляється. Всі отвори отримуємо за допомогою болванів. У місцях спряження стержня і форми допускається присутність кільцевих заусениць довжиною до 1,5 мм.

Деталь «Боковина» призначена пристрою транспортування важких вантажів. Конструкція даної деталі має просту конфігурацію, її маса - 4,1 кг, габаритні розміри

184 × 256 × 48 мм, твердість 131...157 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 СЧ 20 обираємо тигельну індукційну піч промислової частоти марки ГВ фірми HLQ INDUCTION EQUIPMENT CO., LTD [5], технічна характеристика якої наведена в табл. 3.1.

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

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика тигельної індукційної печі промислової частоти марки ГВ-1,5

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Витрати палива	кВт год/т	530
Потужність	кВт	1500
Температура металу при випуску із печі	°С	1400...1550
Продуктивність плавки	т/год	1,50
Угар і безповоротні втрати	%	2...4

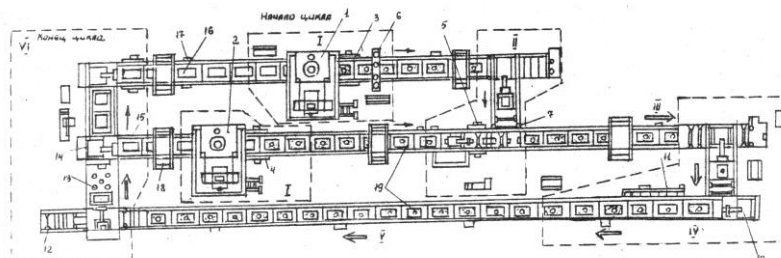
Врахування втрат температури при випуску і транспортуванні чавуну важливе для забезпечення правильної температури заливки форми. Це допомагає уникнути недостатнього розплавлення чи надмірної затвердіння в процесі заливки.

При випуску чавуну з плавильної печі втрати температури складають від 20 до 40 °С, а при переливі з ковша в ківш - від 30 до 50 °С, то ці значення слід враховувати при встановленні температури заливки форми.

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 °С.

Для виготовлення даного виливка застосовуємо автоматичну ливарну лінію ІЛ 225 Івано-Франківського заводу "Авто-Літмаш" [6]. 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 металосмість 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 <sup>3</sup> /хв	110
Максимально встановлена потужність	кВт	115
Витрати формівної суміші	м <sup>3</sup> /хв	70...110
Число операторів	чол	5
Габаритні розміри лінії	мм	65200 × 9300 × 6855
Заглиблення лінії	мм	755
Загальна маса лінії	кг	220000

Технологічний процес формування на ливарній лінії включає наступні етапи:

1. формування півформ: На формувальному пресі В-440М виготовляються нижня та верхня півформи з формувальної суміші;
2. очищення півформ: Стисненим повітрям видаляються залишки формувальної суміші з порожнин півформ;
3. збирання форм: Готові стержні, доставлені з ділянки виготовлення, вручну встановлюються в нижню півформу, після чого верхня півформа з'єднується з нижньою;
4. транспортування до заливки: Зібрані форми транспортуються рольгангами на ділянку заливки;
5. заливка форм: Заливка форми виконується автоматичним зливником з ковшем ємністю 250 кг. Перед заливкою розплавлений чавун очищається від шлаку для забезпечення високої якості виливка.

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. Опки 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 4133 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 4133

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність	т/год	5
Найбільша маса очищуваних виливків	кг	40
Габаритні розміри	мм	6560 × 2550 × 2850
Маса	кг	17870
Потужність електродвигуна	кВт	24,2

Для остаточної очистки виливок застосовується дробометна установка моделі 42723, технічна характеристика якої наведена в табл. 3.5 [8].

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика дробометної установки моделі 42723

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність, т/год	т/год	12,3
Вантажопідємність підвіски	кг	315
Дробометний апарат: число обертів	об/хв	2500
діаметр дробу	мм	1,5...2,0
Кількість дробометних барабанів	шт	8
Розмір оброблюваних виливків: висота × довжина	мм	800 × 1400
Продуктивність одного апарата за дробом	кг/хв	250
Кількість відсмотуваного повітря	м <sup>3</sup> /год	43000
Встановлена потужність	кВт	25
Габаритні розміри: довжина × ширина × висота	мм	11000 × 6000 × 7300
Маса	кг	94000

Виливки зачищаються абразивними кругами з метою видалення заливів, заусениць, перекосів, нерівностей поверхонь і здійснюється на стаціонарних зачисних верстатах ЗМ636, технічна характеристика яких наведена в табл. 3.6 [9].

Таблиця 3.6 – Технічна характеристика зачисного верстата ЗМ636

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Зернистість		80...125
Продуктивність	т/год	0,25...0,30
Маса зачищуваних виливків	кг	до 30

Діаметр абразивного круга	мм	600 × 75
Габаритні розміри	мм	1300 × 800 × 1400

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 суміші використовуємо змішуючі бігуни турбінного типу моделі 1А-12М [9] (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Технічна характеристика змішуючих бігунів турбінного типу моделі 1А-12М

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Об'єм замісу	м <sup>3</sup>	0,6
Тривалість циклу	хв	4...6
Продуктивність	т/год	12
Габаритні розміри в плані	мм	∅ 2200
Потужність	кВт	30
Маса	кг	6200

### 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 «Боковина» має три отвори які в подальшому обробляються. Припуск на механічну обробку приймаю 2 мм відповідно до вимог ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення вибираємо згідно [10].

Припуск на ливарну усадку виражається в процентах від розміру відливка. Значення величини ливарної усадки для чавуну СЧ 20 складає 1 % [11].

Величину радіуса заокруглень вибираємо в межах  $1/5 \dots 1/3$  середнього арифметичного товщини спряжених стінок. Для виливка «Боковина» 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. Величина ухилу складає  $3^\circ$ .

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

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

Для точного розрахунку габаритів ливарних опок необхідно врахувати низку ключових факторів, що забезпечують якісне формування та заливку виливків:

- габарити виливків – розміри кожної деталі є основною відправною точкою для всіх подальших розрахунків;
- кількість виливків на форму (наприклад, 4 вилівки в одній опоці) – цей параметр безпосередньо впливає на загальну площу та об'єм опоки;
- ливникова система – необхідно зарезервувати простір для елементів системи подачі розплавленого металу;
- схеми розміщення моделей (на плиті) – оптимальне розташування моделей визначається з урахуванням коефіцієнта металоємності для ефективного використання робочого простору опоки. Слід дотримуватися мінімальних відстаней між моделями та відстаней до стінок опоки, щоб запобігти деформації формувальної суміші та гарантувати якість виливка.

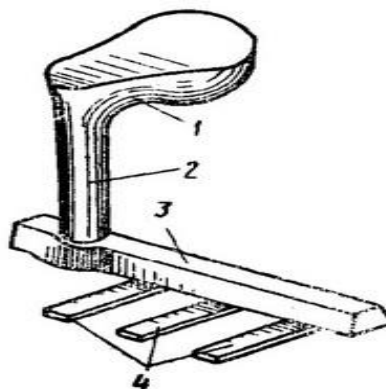
Враховавши ці параметри, було розраховано, що оптимальні габарити опок становлять  $900 \times 600 \times 125$  мм.

#### 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 [13].

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:

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

де  $G$  - маса відливка,  $G = 4100$  г.

$$G_{\text{металу}} = 4 \cdot 4100 + (0,4 \cdot 4100) \cdot 4 = 18040 \text{ г} = 18,04 \text{ кг}$$

Час заливки форми:

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

де  $\tau$  - час заливання форми, сек.;

$S$  - 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;

$\delta$  - переважаюча товщина перерізу стінок вилівка, мм.

$$t = 1,8\sqrt[3]{18,04 \times 12} = 26,48 \approx 27 \text{ с}$$

### 4.3 Визначення площі перерізу каналів ливникової системи

Сумарна площа живильників:

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

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

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

$H_p$  - 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,  $p = 37$  мм;

$c$  - загальна висота відливка,  $c = 48$  мм.

$$H_p = 125 - \frac{37^2}{48} = 96,5 \approx 97 \text{ мм} = 0,097 \text{ м}$$

$$\sum F_{жс} = \frac{18,04}{7200 \cdot 27 \cdot 0,5 \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,097}} = 0,0000107 \text{ м}^2 = 10,7 \text{ см}^2$$

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

де  $n$  - кількість живильників,  $n = 8$

$$F_{жс} = 10,7/8 = 1,3 \text{ см}^2$$

Переріз живильника приймаємо рівним 1,3 см<sup>2</sup>.

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

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

$$\sum F_{\text{вл}} = \sum F_{\text{жс}} \cdot 1,15 = 10,7 \cdot 1,15 = 12,3 \text{ см}^2$$

Тоді,  $F_{\text{вл}} = 12,3 : 2 = 6,15 \text{ см}^2$

Сумарна площа стояка:  $\sum F_{\text{ст}} = \sum F_{\text{жс}} \cdot 1,2 = 12,3 \cdot 1,2 = 14,76 \text{ см}^2$

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

Розрахунок ливникової воронки:

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

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

## 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.

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

Ливарні форми для відливки «Боковина» 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 форми дійсно має велике значення для забезпечення високої якості геометричних розмірів відливка. Операції збирання форми включають в себе наступні етапи:

1. збирання форм. Це процес поєднання верхньої та нижньої половин форми для створення повної форми. Цей процес вимагає точного вирівнювання та кріплення обох половин форми, щоб уникнути деформацій або відхилень у геометричних розмірах виливка;
2. спарювання верхньої та нижньої опок. Після збирання форми верхня та нижня опоки повинні бути спаровані між собою. Це означає, що їх поверхні повинні бути вирівняні та точно прилягати одна до одної без зазорів або перекосів. Спарювання допомагає уникнути витікання розплавленого металу під час заливки та забезпечує однорідність стінок виливка.

Точність збирання форми та спарювання опок допомагає забезпечити однорідність та точність геометричних розмірів виливка, що є критичним для його подальшого використання.

### **5.4 Заливка форм**

Заливка - процес, який вимагає точності та координації для забезпечення потрапляння рідкого металу в ливарні форми. Розглянемо основні складові процесу заливки, які допомагають уникнути дефектів у виготовленому виробі та забезпечують однорідність його структури:

1. підготовка ковша для заливки. Перед заливкою важливо видалити шлак та інші домішки з розливного ковша, щоб уникнути забруднення відливка;
2. заливка металу. Для заливки металу використовують ковші чайникового типу ємністю 250 кг. Метал потрібно швидко та рівномірно заливати в ливникову чашу. Це допомагає уникнути утворення порожнин та нерівномірностей у виготовленому виробі;
3. контроль за заливкою: Важливо виконувати заливку безперервно та контролювати рівень металу у ливниковій чаші;
4. утилізація залишків металу: Після заливки важливо забезпечити правильне відведення залишків металу у спеціальні форми, щоб уникнути їх непотрібного накопичення.

### **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 (вилівок 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 вилівок – після обрубки проводиться очистка вилівок 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 вилівок;

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

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

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

У крупносерійному та масовому виробництві вилівка "Боковина" застосовуються металеві моделі для забезпечення довговічності та високої точності.

Процес підготовки оснащення для лиття включає виготовлення металевих моделей, монтажних плит та стержневих ящиків:

I. виготовлення та монтаж металевих моделей. Етапи виготовлення робочих металевих моделей (оснащення для формовки):

1. виготовлення промоделей:

а) промоделі виливають із сірого чавуну СЧ 20;

б) при цьому враховують припуск на механічну обробку (3,5 мм) та усадку сплаву (кінцевого виливка);

в) обробку промоделей виконують вручну;

2. монтаж на модельні плити:

г) після механічної обробки моделі монтуються на підготовлені плити;

д) монтаж виконується з урахуванням розмірів опок та необхідних відстаней між моделями;

3. монтаж ливникової системи – елементи ливникової системи встановлюються на плиту відповідно до робочого креслення;

4. кріплення та шаблонування:

е) моделі та ливникова система кріпляться гвинтами;

ж) для забезпечення точності монтажу використовується монтажний шаблон з листової сталі (товщиною 2...5 мм), за яким фіксуються напівмоделі;

II. виготовлення модельних плит. Модельні плити виготовляються з чавуну товщиною 50 мм. Поверхня плит обробляється для забезпечення необхідної гладкості перед встановленням моделей.

III. виготовлення стержневого ящика. Стержневий ящик (призначений для виготовлення ливарних стержнів) створюється з алюмінію методом лиття у піщані форми. Ключові параметри виготовлення ящика:

з) усадка та припуск – враховується усадка алюмінію (1,25 %) та припуск на обробку (0,4 мм);

о) конструкція – ящик складається з двох половин, з'єднаних штирями.

Площина роз'єму шліфується для точності;

п) товщина стінок – стінки ящика мають товщину 10 мм;

р) вентиляція – для ефективного видалення повітря під час виготовлення стержня передбачені вентиляційні отвори. Їх кількість та розміри розраховуються відповідно до об'єму ящика. У нашому випадку:

$$\frac{F_{\text{вент}}}{F_{\text{вд.отв.}}} = 0,1 \dots 0,9, \quad (6.1)$$

де  $F_{\text{вент}}$  – сумарна площа вент;

$F_{\text{вд.отв.}}$  – сумарна площа вдувних отворів.

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \cdot F_{\text{вд.отв}}$$

$$F_{\text{вд.отв.}} = \frac{\pi \cdot 31^2}{4} = 750 \text{ мм}^2$$

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \cdot 750 = 300 \text{ мм}^2$$

Площа однієї вентри при діаметрі 6 мм дорівнює 28 мм<sup>2</sup>. Звідси для забезпечення щільної набивки стержня необхідно на один вдувний отвір діаметром 31 мм мати 8 вент. Застосовуємо щільовидні прорізи у вентах.

## ЗАКЛЮЧЕННЯ

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

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

- проведено детальний аналіз конструкції виливка "Боковина" 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 "Боковина"..

## ЛІТЕРАТУРА

1. Хричиков В. Е., Меняйло 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. 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.
6. <https://on-v.com.ua/predpriyatiya/proizvoditeli-oborudovaniya/otto-junker-gmbh/>
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. 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.
9. И. Б. Зайгеров. Оборудование литейных цехов. – Минск: Высшая школа, 1980. – 368 с.
10. В.П. Сумцов. Устаткування ливарних цехів. – К.: ІСДО, 1993. – 552 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. Наказ від 28.12.2022 № 285 Про пакетне прийняття європейських нормативних документів CEN/CENELEC. – Введ. 2024–19–03. – К.: ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості», 2022. – 5 с.

13. 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.

14. 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..

15. 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.

16. 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**