

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)
«_____» _____ 2025__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

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

**«Development of a technological process for the
manufacturing a casting «Bush» by sand-clay mold
casting method»**

Виконав: здобувач вищої освіти 4-го курсу
групи ПМ(ОЛ)-21
Сергій Огаренко
(прізвище та ініціали)

ОПП «Комп'ютерний інжинірінг
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)

Центральноукраїнський національний технічний університет

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
«_____» _____ 2025 ____ р.

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

Огаренко Сергій Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи: Розробка технологічного процесу виготовлення відливка «Втулка» методом лиття в піщано-глинисту форму
керівник роботи: _____ к.т.н., доц. Олександр СКРИПНИК
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджено наказом вищого навчального закладу від “2” 01 2025 року № 9-02
- Строк подання роботи до захисту 15.06.2025
- Вихідні дані до роботи _____
– завдання на бакалаврську роботу;
_____ – матеріали переддипломної практики;
_____ – державні стандарти та технічні нормативи
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
обґрунтувати вибір матеріалу вилівка та описати його властивості;
привести характеристику деталі та розробити технічні умови на вилівок;
розробити технологічний процес виготовлення вилівка;
розрахувати і сконструювати ливникову систему
описати технологічний процес виготовлення вилівка
описати процес проектування ливарної оснастки
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Втулка;
Модельний комплект верха;
Форма в зборі

6. Консультант по роботі

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

7. Дата видачі завдання 10.03.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей	25.03.2025	
2	Характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок	1.04.2025	
3	Розробка технологічного процесу виготовлення виливка	9.04.2025	
4	Розрахунок і конструювання ливникової системи	15.04.2025	
5	Опис технологічного процесу виготовлення виливка	21.04.2025	
6	Опис процесу проектування ливарної оснастки	7.05.2025	
7	Оформлення пояснювальної записки	17.05.20245	
8	Оформлення презентації роботи	25.05.2025	

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2025__ р.

Керівник роботи _____ (Олександр СКРИПНИК)
(підпис)

Завдання прийнято до виконання « ____ » _____ 2025__ р.

Здобувач вищої освіти _____ (Сергій ОГАРЕНКО)
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на 29 стор. друкованого тексту і містить 1 рис., 10 табл., і 16 літературних посилань.

В пояснювальній записці приведено аналіз конструкції деталі «Втулка», розроблені технічні умови на вилівок, описано процес його виготовлення, вибране технологічне обладнання, розраховано ливниково-живильну систему, наведено характеристику матеріалів, параметри та способи технічного контролю якості виливків.

Об'єкт розробки – процес виготовлення виливка з сірого чавуну «Втулка» масою 0,78 кг литтям у піщано-глинисту форму.

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 дрібних (до 30 кг) чавунних виливків середньої складності в умовах серійного та масового виробництва.

**ВИЛИВОК, ФОРМА, ЖИВИЛЬНИК, МОДЕЛЬНИЙ КОМПЛЕКТ,
ПРИПУСК, СТЕРЖЕНЬ, СТЕРЖНЕВИЙ ЯЩИК, ФОРМУВАЛЬНА
СУМІШ, ЗАЛИВКА СПЛАВУ**

ABSTRACTS

The explanatory note is presented on 29 pages of printed text and contains 1 figures, 10 table, and 16 references.

The explanatory note analyzes the design of the “Bushing” part, develops technical specifications for the casting, describes the manufacturing process, selects the process equipment, calculates the casting and feeding system, and provides material characteristics, parameters, and methods of technical quality control of castings.

The object of development is the process of manufacturing a gray cast iron casting “Bushing” weighing 0.78 kg by casting in a sandy-clay mold.

Subject of development - determination of technological parameters, drawing up a description of the casting production and its molding.

Design results - the technology of the casting mold was developed, the choice of modern casting equipment was made.

The results of the development can be recommended for implementation in the production of small (up to 30 kg) cast iron castings of medium complexity in batch and mass production.

CASTING, MOLD, FEEDER, MODEL KIT, ALLOWANCE, CORE, CORE BOX, MOLDING COMPOUND, ALLOY POURING

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
4.3 Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.....	18
5 Опис технологічного процесу виготовлення виливка.....	20
5.1 Вибір формувальної та стержньової суміші.....	20
5.2 Формовка.....	21
5.3 Збирання форм.....	21
5.4 Заливка форм.....	21
5.5 Вибивка і обрубка.....	22
6 Опис процесу проектування ливарного оснащення.....	22
ЗАКЛЮЧЕННЯ.....	25
ЛІТЕРАТУРА.....	26
ДОДАТКИ.....	29

ВСТУП

Основний напрямок удосконалення та розвитку сучасного виробництва – 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.

Ливарне виробництво є 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 [1].

Для ливарного виробництва характерна різноманітність способів лиття, технологічних процесів, обладнання, пристроїв, матеріалів. Вона – відображення не лише складності самого процесу, але й різноманітності деталей сучасної техніки, їх виробництва та експлуатації. Зміна якісних показників рухається в напрямку отримання більш легких, складних та точних відливок за рахунок використання високоміцних, в тому числі чорних сплавів, високоефективних технологій та оснастки, автоматизації, удосконаленні систем виробництва та контролю якості, покращення економічних показників [2].

В даній кваліфікаційній роботі для виготовлення відливка «Втулка» використовується процес лиття у піщано-глинисту форму. Передбачено виготовлення разових піщано-глинистих форм в опоках на автоматичній лінії ІЛ 225, плавка сплаву проводиться в індукційній електропечі з рафінуванням та модифікуванням, що значно підвищує якість виливків. Використання такого процесу виготовлення виливка «Втулка» дозволяє підвищити продуктивність праці і отримати деталі з підвищеною розмірною точністю.

1 Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей

Вибір матеріалу для виливка проводили на основі умов його роботи та вимог, які до нього пред'явлені. Для виготовлення виливка «Втулка» використовуємо сплав СЧ 20. Фізичні та механічні властивості, хімічний склад, цього сплаву наведено в табл. 1.1, 1.2, 1.3.

Таблиця 1.1 - Фізичні властивості чавуну марки СЧ 20 ДСТУ 8833:2019 [3]

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)
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 σ_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

Приведені характеристики сірого чавуну дійсно важливі для розуміння виробництва високоякісних виливків. Низький опір відриву та практично відсутнє подовження свідчать про те, що сірий чавун має обмежену пластичність і схильний до руйнування під дією навантаження.

Однак, введення модифікаторів, таких як феросиліцій або силікокальцій, може покращити міцність і зносостійкість сірого чавуну шляхом утворення більш дрібних і однорідних графітових структур. Це може призвести до збільшення міцності та зменшення вразливості до руйнування.

Такі модифікації структури допомагають у підвищенні якості сірого чавуну та розширенні його застосувань у виробництві.

Графіт у сірому чавуні, який має пластинчасту форму, грає ключову роль у визначенні механічних властивостей матеріалу. Елементи, такі як кремній (Si), нікель (Ni), мідь (Cu) і інші, сприяють процесу графітизації, тобто утворенню графіту під час кристалізації чавуну. Найважливішими елементами, що впливають на графітизацію, є кремній і марганець.

Швидкість охолодження також впливає на ступінь графітизації. Повільне охолодження сприяє більшому виділенню вуглецю у формі графіту, що призводить до більшого ступеня графітизації. Це може бути досягнуто шляхом зміни матеріалу форми або збільшення товщини стінки виливка.

Ступінь графітизації визначає структуру металевої основи сірого чавуну. В залежності від того, яка частина вуглецю міститься у чавуні у зв'язаному стані, розрізняють чавуни з феритною, ферито-перлітною і перлітною основами. Кожна з цих структур має свої особливості механічних властивостей, що робить їх придатними для різних застосувань у промисловості.

Властивості сірого чавуну [4]:

1. здатність поглинати вібрацію. Це особливо важлива властивість у випадку компонентів, які працюють у середовищах з великими механічними навантаженнями або піддаються великій кількості вібрації. Сірий чавун здатний поглинати цю вібрацію, що може підвищити тривалість служби таких компонентів;
2. зносостійкість. Хороша зносостійкість робить сірий чавун відмінним вибором для деталей, які піддаються тертю або зношуванню, таких як бандажі, гальма або шестерні;
3. міцність на стискання. Ця властивість робить сірий чавун відмінним матеріалом для компонентів, що піддаються великим механічним навантаженням, таким як циліндри або корпуси машин;
4. оброблюваність. Чудова оброблюваність сірого чавуну робить його легким у виготовленні складних деталей або вигинів, що робить його популярним матеріалом для виробництва механічних частин;

5. стійкість до корозії. Хоча сірий чавун може бути вразливим до корозії у деяких середовищах, він все ж має досить хорошу стійкість до корозії у порівнянні з багатьма іншими матеріалами, що робить його придатним для використання в певних умовах.

Узагальнюючи, сірий чавун є універсальним матеріалом з багатьма властивостями, що роблять його цінним у багатьох галузях виробництва.

2 Характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок

Виливок відноситься до 7т класу точності за ГОСТ 26645-85, виготовляється із сірого чавуну СЧ20 за ДСТУ 8833:2019 [3]. На оброблюваній поверхні допускаються одиничні ливарні раковини не більше 5 мм і глибиною 2 мм, в кількості 5 шт. Зміщення по лінії роз'єму до 2 мм. На необроблених поверхнях допускаються раковини глибиною до 9 мм і глибиною 4 мм, в кількості 8 шт. У місцях спряження стержня і знакових частин допускається кільцеві заусениці до 1,5 мм, нарости не більше 1,5 мм площею не більше 6 см в кількості 3 шт на поверхні. Також допускається пригар в важкодоступних для очистки місцях, заливи по лінії роз'єму та на стику стержнів в важкодоступних місцях. Дефекти, вказані вище дозволяється виправляти зварюванням з подальшою очисткою. Усадкова пористість в кутах не більше 2 мм.

Деталь «Втулка» представляє собою циліндр. Маса деталі 0,78 кг, габаритні розміри діаметр 73 × 70 мм.

Оброблюваними поверхнями є зовнішня і торцева поверхні. Останні поверхні необроблені. Даний виливок являється технологічним. Зовнішня поверхня вилівка представляє собою прямолінійні контури, зчленовані плавними переходами, які забезпечують деяку деформацію вилівка при усадці його під час охолодження у формі і зниження залишкових напружень в місцях спряження прямолінійних ділянок. Виливок має один стержень, немає з'ємних частин, роз'єм

моделі і форми один. Внутрішня поверхня ускладнена циліндричною ділянкою довжиною 20 мм круглого перерізу діаметром 63 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 ІЧТ-2,5 фірми "Termolit Plus" [5], технічна характеристика якої наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика тигельної індукційної печі промислової частоти марки ІЧТ-2,5 фірми "Termolit Plus"

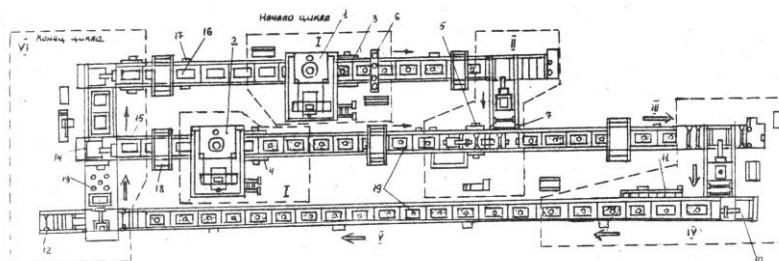
Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Ємність печі	т	2,5
Потужність	кВт	1000
Температура металу	°С	1550
Продуктивність плавки	т/год	0,67
Частота номінальна	Гц	50

Втрати температури чавуну при випуску із плавильної печі, транспортуванні і переливі із ковша в ківш повинні бути враховані при встановленні температури заливки форм. При випуску чавуну з індукційної печі втрати температури складають від 20 до 40°С, а при переливі з ковша в ківш від 30 до 50 °С.

Рекомендована температура заливки сірого чавуну при середній товщині стінки відливки 22 мм і з врахуванням втрат тепла складає від 1460 до 1340 °С.

Виливок «Втулка» виготовляється на автоматичній ливарній лінії ІЛ 225 Івано-Франківського заводу "Авто-Літмаш" [6]. На цій лінії весь процес отримання виливка, від операції формовки до вибивки готової форми, автоматизовано. Розмір опоки в світлі 900 × 600 мм. Висота верхньої опоки рівна висоті нижньої – 200 мм. Модельні плити односторонні, на одній плиті змонтовані частини моделі для

оформлення низу форми, на іншій – для верха. 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

Таблиця 3.2 - Технічна характеристика автоматичної лінії ІЛ 225

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Розміри опок: висота × довжина × ширина	мм	250 × 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 роликовим 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	т	220

Процес формовки починається з виготовлення напівформи низу на формувальному пресі В-440М [6]. Виготовлена напівформа по рольгангам направляється на обдув стисненим повітрям для видалення частинок формувальної суміші, які потрапили у порожнину форми. Напівформа верха також виготовляється на формувальному пресі В-440М. З ділянки виготовлення стержнів готові стержні транспортуються до місця збирання напівформ.

Стержні виготовляються на стержньовій машині моделі СВ-25 фірми SHS-MET & CBC-MET COLD BOX MASCHINE, технічну характеристику якої наведено в табл. 3.3 [7].

Таблиця 3.3 – Технічна характеристика стержньової машини моделі СВ-25

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Найбільша маса стержнів	кг	25,0
Продуктивність стержнів	год	120...150
Розміри стержневих ящиків	мм	500 × 550 × 500
Габаритні розміри машини	м	2,1 × 1,85 × 3,15
Вага	кг	3850

Стержні проставляються вручну у напівформі низу, потім за допомогою розпаровщика опок ІС-10-001 напівформа верха з'єднується з напівформою низу. Зібрана форма направляється по рольгангам на ділянку заливки. Заливка форми виконується автоматичним заливщиком з ковшем, ємкість якого 250 кг. Перед заливкою чавун повинен бути очищений від шлаку.

Під час заливки форми необхідно слідкувати за рухом розплаву з ковша у форму. У початковий момент заливки необхідно повертати ківш плавно, без ривків, однак достатньо швидко, щоб заповнити ливникову систему і чашу. Після заливки форми, виливок охолоджується і твердіє, разом з формою пересуваючись по рольгангам з дільниці заливки до дільниці вибивки. За час руху у виливку закінчуються усі перетворення. Чавунні виливки необхідно вибивати при температурі 400 °С. Форма вибивається на спеціальній установці, на якій суміш і виливки видавлюються пресом на вібраційну решітку із нерухомої форми, де руйнуються її спресовані грудки. Потім суміш поступає по лотку на транспортер. Виливки потрапляють в галтувальний барабан моделі 41212 для остаточного

відділення від суміші і частково від ливників, технічну характеристику якого наведено в табл. 3.4 [8].

Таблиця 3.4 – Технічна характеристика галтувального барабана моделі 41212

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність	т/год	5...7
Майбільша маса очищаємих виливків	кг	40
Габаритні розміри	мм	7648 × 2528 × 2440
Маса	т	15,21
Потужність	кВт	55

Із барабанів виливки потрапляють на пластинчатий транспортер і подаються ним у очисне відділення для очищення, обрубки і обробки.

Перед очищенням виливки попередньо оглядаються, брак видаляється і не поступає на очистку.

Технологічний процес очищення виливків складається із наступних операцій:

- видалення стержнів;
- відділення ливників, випорів;
- очищення виливків від прилиплої формувальної суміші;
- остаточного контролю якості виливків після очищення і обрубки.

Для остаточної очистки виливок застосовується дробометний барабан моделі 42322М, технічну характеристику якого наведено в табл. 3.5 [8].

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика дробометного барабану моделі 42322М

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність барабану по чавуну	т/год	7,30
Максимальна вага виливок	кг	25
Максимальні габарити виливка по діагоналі	мм	700
Об'єм відсмоктуємого повітря	м ³ /год	17000
Потужність електродвигунів	кВт	65
Габаритні розміри барабану	мм	7600 × 4500 × 7100
Маса	т	29

Виливки зачищаються абразивними кругами з метою видалення заливів, заусениць, перекосів і нерівностей поверхонь. Обдирання здійснюється на стаціонарних зачисних станках моделі 3М363, технічну характеристику яких наведено в табл. 3.6 [9].

Таблиця 3.6 – Технічна характеристика зачисного станка моделі 3М363

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Зернистість		80...125
Продуктивність	т/год	0,5...0,6
Частота обертання шпинделя	об/хв	955...1425
Потужність електродвигуна	кВт	7,5

Контроль якості виливків здійснюється зовнішнім оглядом БТК цеху. Після виправлення знайдених недоліків знову контроль якості - БТК цеху. Ґрунтовка виливків здійснюється для захисту від корозії при зберіганні на складі і в процесі механічної обробки. Виливки перед фарбуванням промиваються в двокамерній машині і потім сушаться теплим повітрям. Далі виконується ґрунтовка виливків зануренням у ванну з просушуванням у камері при 60 °С на протязі 10 хв. Після фарбування виливки направляємо на склад готових виробів.

3.2 Визначення положення виливка у формі

Для забезпечення високої якості зовнішньої поверхні втулки, яка є основною оброблюваною поверхнею, виливок «Втулка» у формі під час заливки розташовується вертикально. Це дозволяє запобігти утворенню раковин, дефектів, спричинених забрудненням, та рихлості.

Горизонтальне розташування площини роз'єму моделі та форми, яка є єдиною для цього виливка, спрощує використання машинного формування. Відсутність знімних частин моделі завдяки такому розташуванню роз'єму полегшує процес.

Розташування виливка в нижній півформі забезпечує:

- ефективне набивання форми;
- просте складання;
- надійну фіксацію стержнів;
- зручний контроль розмірів форми;
- легке вилучення моделі.

Використання двох ливниково-живильних систем сприяє запобіганню недоливам та усадковим дефектам Це сприяє:

- кращому заповненню форми;
- видаленню газів;
- додатковому живленню виливка під час затвердіння.

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

Розміри виливка відрізняються від розмірів готової деталі на величину припусків на механічну обробку. Величину припусків для сірого чавуну вибираємо по ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення [10]. На кресленні межі припусків обводяться тонкою лінією (лист БР - 131.25.11.01.00.00) і вказується величина припуску, яка по ДСТУ 8981:2020 для даної деталі складає 3 мм.

Припуск на ливарну усадку виражається в процентах від розміру виливка. Значення величини ливарної усадки для сірого чавуну вибираємо з [11]. Для середніх відливоків вільна усадка рівна 1 %.

Величину радіуса заокруглень вибираємо в межах $1/5 \dots 1/3$ середнього арифметичного товщини спряжених стінок. Для даного відливка радіуси заокруглень складають 3 мм. Мінімальні радіуси заокруглень вибираємо із [11]. Радіуси заокруглень проставляємо на кресленні деталі (лист БР - 131.25.11.01.00.00), не вказані радіуси вказуємо на вільному полі креслення.

Розміри стержня вибирають з урахуванням припуску на механічну обробку і ливарну усадку (лист БР - 131.25.11.01.00.00). З'єднання стержня з верхньою і нижньою напівформами виконується за рахунок циліндричних знаків. Розміри верхніх і нижніх стержньових знаків вибираємо у відповідності з наказом від 28.12.2022 № 285 "Про пакетне прийняття європейських нормативних документів CEN/CENELEC" [12]. В залежності від номінального розміру отвору і відношення

довжини отвору до цього розміру вибираємо довжину знаків – верхнього 25 мм, нижнього 30 мм [11].

Величину зазорів між знаками і формою вибираємо в залежності від максимального розміру стержня [11]. Для знаків бокові зазори рівні 0,15 мм, верхній зазор 0,25 мм.

4 Розрахунок і конструювання ливникової системи

4.1 Визначення габаритних розмірів опоки

Розміри опок визначаються такими факторами:

- габаритами виливка;
- кількістю виливків в одній опоці;
- розмірами ливникової системи;
- правильним розміщення моделей на підмодельній плиті.

Правильність розміщення моделей на підмодельній плиті для заданого розміру опок оцінюється за коефіцієнтом металоємності. Цей коефіцієнт є відношенням загальної ваги металу у формі до ваги формувальної та стержньової маси опоки. Значення коефіцієнта металоємності залежить від складності, товщини стінок та габаритів виливка і знаходиться в діапазоні від 0,25 до 1,2.

Відстань між окремими моделями визначається за формулою $(0,3...0,5) \times h$ де h – висота моделі у верхній та нижній півформах. Також враховується відстань від моделі до верху та низу форми. При формуванні кількох виливків в одній опоці із загальною ливниковою системою, відстань між ними в площині роз'єму повинна бути $\leq 20...25$ мм. Відстань від тіла виливка до стінок опок становить 50...100 мм, а від стержньового знаку до бокової стінки опоки – 0...50 мм. Відстань від моделі до верхньої та нижньої площини опоки дорівнює 60...120 мм.

Для виготовлення виливка «Втулка» на автоматичній лінії ІЛ 225 Івано-Франківського заводу "Авто-Літмаш" з розмірами опоки $900 \times 600 \times 200$ мм приймаємо кількість виливків в одній опоці рівною 12 шт.

4.2 Визначення оптимальної тривалості заливки

Ливникова система складається з послідовно з'єднаних між собою каналів за допомогою яких розплавлений метал підводиться у ливарну порожнину форми.

Оптимальна тривалість заливки визначається за формулою [13]:

$$t = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot C_1}, \quad (4.1)$$

де S_1 – коефіцієнт, $S_1 = 2$ [13];

δ – середня товщина стінок виливка, $\delta = 8$ мм;

C_1 – вага одного виливка з ливниковою системою, кг

$$C_1 = C_6 + 0,3C_6 \quad (4.2)$$

$$C_1 = 0,78 + 0,3 \cdot 0,78 = 1,014 \text{ кг}$$

Тоді:

- для одного виливка

$$t = 2 \cdot \sqrt[3]{8 \cdot 1,014} = 3,75 \text{ с}$$

- для шести виливків

$$t = 2 \cdot \sqrt[3]{8 \cdot 6,084} = 6,42 \text{ с}$$

Середня швидкість рівня підйому металу у формі визначається по формулі:

$$V = \frac{C}{t},$$

(4.3)

де C – висота вилівка, мм;

t – оптимальна тривалість заливки, с.

$$V = \frac{70}{3,75} = 18,67 \text{ мм / с}$$

Оптимальна тривалість заливки забезпечує необхідну швидкість підйому рідкого металу у формі [13].

4.3 Визначення площі перерізу каналів ливникової системи

Загальна площа живильників на один вилівок:

$$\sum F_{\text{жс1}} = \frac{G \cdot 1000}{\mu \cdot t \cdot \gamma \cdot \sqrt{r \cdot g \cdot H_p}},$$

(4.4)

де G – вага одного вилівка, з ливниками і т.п., кг;

μ – коефіцієнт витрат металу, $\mu = 0,42$ [13];

γ – густина рідкого металу. Приймаємо $\gamma = 7100 \text{ кг/м}^3$ [13].

g – прискорення вільного падіння, м/сек^2 ;

H_p – середній метало статичний тиск, см.

Середній метало статичний тиск визначаємо за формулою:

$$H_p = H_0 - \frac{P^2}{c};$$

(4.5)

де H_0 – висота металу в чаші, $H_0 = 200$ мм;

p – висота виливка над рівнем підйому металу, $p = 0$ мм;

c – загальна висота виливка, $c = 70$ мм.

$$H_p = 200 - \frac{0^2}{70} = 200 \text{ мм} = 20 \text{ см}$$

$$\sum F_{\text{жс1}} = \frac{1,014 \cdot 1000}{0,35 \cdot 3,75 \cdot 7,1 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 20}} = 1 \text{ см}^2$$

для шести виливків

$$\sum F_{\text{жс6}} = 6 \sum F_{\text{жс1}} = 6 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу живильника трапецією (лист БР - 131.25.11.01.00.00).

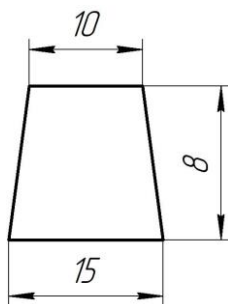


Рисунок 4.1 - Переріз живильника

Розраховуємо площу шлаковловлювача:

$$\sum F_{жс} : \sum F_{уу} : \sum F_{см} = 1:1,1:1,5 \quad (4.6)$$

$$\sum F_{уу} = \sum F_{жс6} \cdot 1,1 = 6 \cdot 1,1 = 6,6 \text{ см}^2$$

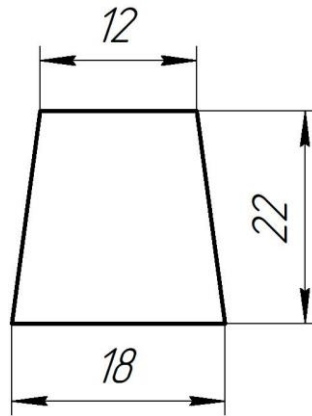


Рисунок 4.2 - Переріз шлаковловлювача

Площа поперечного перерізу стояка:

$$F_{см} = \frac{\sum F_{уу6} \cdot 1,5}{1,1} \quad (4.7)$$

$$F_{см} = \frac{6 \cdot 1,5}{1,1} = 8,18 \text{ см}^2$$

Оскільки:

$$F_{см} = \frac{\pi \cdot d^2}{4}; \quad (4.8)$$

тоді:

$$D_{см} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{см}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,18}{3,14}} = 2,98 \text{ см} \quad (4.9)$$

Відповідно до виробничої необхідності приймаємо $D_{ст} = 3 \text{ см} = 30 \text{ мм}$

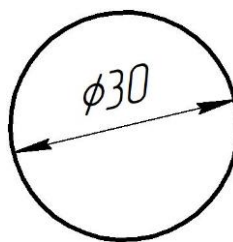


Рисунок 4.3 - Переріз стояка

Розрахунок ливникової воронки:

$$D_B = (2,7...3) D_{CT} = 3 \times 30 = 90 \text{ мм}$$

5 Опис технологічного процесу виготовлення виливка

5.1 Вибір формувальної та стержньової суміші

У масовому і серійному виробництві рекомендується використовувати єдину формувальну суміш. На автоматичній лінії ІЛ 225 використовується формувальна суміш з підвищеною рідинотекучістю, склад та механічні властивості стержньової та формувальної сумішей наведено в табл. 5.1 [14].

Таблиця 5.1 – Склад та властивості формувальної та стержньової сумішей

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Стержньова суміш		
Пісок кварцовий ІКО2А ДСТУ Б В.2.7-131:2007	%	100
Лігносульфанат технічний ТУ 2455-055-58901825-2008	%	2,4
Фенолосліот А ТУ 6-05-1164-75	%	1,6
Формувальна суміш		
Пісок кварцовий ІКО6 ДСТУ Б В.2.7-131:2007	%	3,5
Оборотна суміш	%	95
Формівна глина	%	0,5
Молоте вугілля	%	0,5
КО	%	0,5
Властивості формувальної суміші		
Газопроникність у вологому стані	см/хв	50
Вологість	%	3,4...4,0
Міцність на стиснення у вологому стані	кПа	45...55

5.2 Формовка

Основну частину форми одержують машинною формовкою. За допомогою машин механізовано дві основні операції – ущільнення, видалення моделі з форми і деякі інші. Процес виготовлення форм в перших опоках іде таким шляхом:

Формувальна суміш подається в бункери встановлені над машиною. Порожні опоки подаються за допомогою рольгангів. Нижню і верхню напівформи виготовляють на різних машинах. Потім за допомогою дозатора заповнюють опоки формівною сумішшю з бункера. Далі суміш ущільнюють, готову напівформу кантують, знімають надлишок суміші і виконують обдув форми. 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

Для отримання якісних виливків необхідно підтримувати температуру чавуну під час заливки в діапазоні 1340 – 1460 °С. Заливка може здійснюватися як у рухомі, так і в нерухомі форми. Розплавлений чавун з міксера подається в попередньо нагрітій ківш барабанного типу об'ємом 1 т, який транспортується краном. Цей ківш встановлюється на спеціальному стенді для подальшого розливу металу в розливні ковші.

Процес заливки:

- для заливки використовуються ковші чайникового типу об'ємом 250 кг;
- перед заливкою необхідно ретельно видалити шлак з розливного ковша;

- ківш підводиться таким чином, щоб носик ковша знаходився над ливниковою чашею на відстані 150 – 200 мм;
- під час заливки необхідно швидко заповнити ливникову чашу металом і підтримувати її заповненою до кінця процесу;
- перелив чаші неприпустимий. Допускається недолив не більше 20 мм;
- заливка повинна бути безперервною;
- залишки металу після заливки зливаються в спеціальні форми.

5.5 Вибивка і обрубка

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

Потім виливки поступають в прохідний дробометний барабан де вони позбавляються від пригару. Після цієї операції відбувається зачистка від заусениць на наждачних верстатах.

Далі вони поступають на дільниця контролю де проходять проміжний контроль (по всіх стадіях технологічного процесу) і кінцевий. Перевіряють хімічний склад, структуру, геометричні розміри. Поверхневі дефекти визначають візуально.

6 Опис процесу проектування ливарного оснащення

Для забезпечення тривалого терміну служби моделей при крупносерійному та масовому виробництві їх виготовляють з металу. Заготовки металевих моделей отримують шляхом лиття в піщані форми за дерев'яними промоделями.

Промоделіс. Промоделі виготовляються з припуском на механічну обробку моделі та вилівка, а також з урахуванням усадки сплаву моделі. Матеріалом для моделі слугує сірий чавун марки СЧ 20. Обробка моделей здійснюється вручну, припуск на механічну обробку вилівка становить 3,5 мм. Товщина тіла моделі визначається за номограмою залежно від габаритів моделі. Зважаючи на малі габаритні розміри вилівка, модель відливається суцільною. Після механічної обробки моделі монтується на попередньо підготовлені промодельні плити.

Монтаж на промодельні плити. Під час монтажу напівмоделей на плити необхідно враховувати розміри опок (контур опоки в світлі 900×600 мм). Обидві промоделі розташовуються на плиті таким чином, щоб відстань від напівмоделей до країв становила не менше 30 мм. Ливникова система монтується відповідно до креслення ливникової системи. Кріплення моделей та ливникової системи здійснюється гвинтами. Монтаж моделей на плитах виконується за допомогою монтажного шаблону, виготовленого з листової сталі товщиною 2...5 мм.

Модельні плити. Модельні плити виготовляються з чавуну. Товщина плит становить 50 мм, що забезпечує їхню стійкість до навантажень під час формування. Робоча поверхня плит має бути оброблена. На підготовлені плити накладається монтажний шаблон, встановлюються напівмоделі, та просвердлюються отвори для кріплення. Напівмоделі використовуються як кондуктори, отвори свердляться одночасно в плиті та моделі. Потім плита з отворами накладається на іншу плиту, і в останній просвердлюються отвори. На плиту встановлюються напівмоделі та кріпляться гвинтами. Після кріплення моделей встановлюється ливникова система. До плити для нижньої півформи кріпляться моделі живильників, а на плиту верху – моделі шлаковловлювачів. Підмодельні плити повинні мати елементи спарювання з опоками:

- на одній плиті: з одного боку – центрувальний, з іншого – напрямний штирі;
- на другій плиті: відповідно центрувальний та напрямний отвори;
- модельні плити на формувальній машині кріпляться за допомогою болтів.

Виготовлення стержневих ящиків. Для виготовлення стержнів піскоструминним способом застосовується алюмінієвий стержневий ящик. Заготовка ящика отримується шляхом лиття в піщані форми за дерев'яними моделями. Під час виготовлення моделі ящика необхідно врахувати усадку алюмінієвого сплаву (1,25%) та припуск на механічну обробку ящика (0,4 мм). Товщина тіла стержневого ящика визначається за номограмою залежно від габаритних розмірів. Для стержневих ящиків з алюмінієвих сплавів товщина стінок становить 10 мм. Товщина ребер жорсткості та радіус галтелей визначаються за таблицями. При товщині стінок стержневого ящика 10 мм товщина ребер жорсткості становить 10 мм, а радіус галтелей – 5 мм. Стержневий ящик відливається відповідно до розмірів та піддається механічній обробці. Площина роз'єму ящика шліфується для якісного прилягання обох половин ящика одна до одної. Половини ящика з'єднуються за допомогою штирів. Для видалення повітря із ящика при виготовленні стержня, встановлюються вентиляційні отвори. Розрахунок вент виконується із співвідношення:

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

де $F_{вент}$ – сумарна площа вент;

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

$$F_{вент} = 0,4 \cdot F_{вд.отв.}$$

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

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

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

ЗАКЛЮЧЕННЯ

В бакалаврській роботі розроблено процес виготовлення виливка з сірого чавуну «Втулка» масою 0,78 кг литтям у піщано-глинисту форму.

Виконано аналіз конструкції деталі «Втулка» і технологічних умов на виливок, вибрані припуски на механічну обробку і усадку, радіуси галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків, описано обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів, технологічний процес виготовлення виливка і процес проектування ливарної оснастки.

Розраховано оптимальну ливниково-живильну систему, яка дозволяє отримувати якісні виливки при мінімальній витраті металу.

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. 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.
5. <https://on-v.com.ua/predpriyatiya/proizvoditeli-oborudovaniya/otto-junker-gmbh/>
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. 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.
8. И. Б. Зайгеров. Оборудование литейных цехов. – Минск: Высшая школа, 1980. – 368 с.
9. В.П. Сумцов. Устаткування ливарних цехів. – К.: ІСДО, 1993. – 552 с.
10. 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.
11. Гуцин 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