

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)
«___» _____ 2024__ 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
production of a casting of a sleeve by casting in a sand
and clay mould»**

Виконав: здобувач вищої освіти 4-го курсу
групи ПМ(ОЛ)-20
Олександр Шевченко
(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)

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
«_____» _____ 2024 р.

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

Шевченко Олександр Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка технологічного процесу виготовлення відливка
Втулка методом лиття в піщано-глинисту форму
2. Керівник роботи: к.т.н., доц. Олександр СКРИПНИК
3. Строк подання роботи до захисту 10.05.2024
4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи:
Розробити технологічний процес виготовлення виливка Втулка 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. Втулка
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 роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей	6.05.2024	
2	Характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок	9.05.2024	
3	Розробка технологічного процесу виготовлення виливка	11.05.2024	
4	Розрахунок і конструювання ливникової системи	13.05.2024	
5	Опис технологічного процесу виготовлення виливка	16.05.2024	
6	Опис процесу проектування ливарної оснастки	22.05.2024	
7	Оформлення пояснювальної записки	27.05.2024	
8	Оформлення презентації роботи	3.06.2024	
9	Здача роботи на кафедрі та перевірка на наявність запозичень	10.06.2024	

Дата видачі завдання «_____» _____ 2024__ р.

Керівник роботи _____ (Олександр СКРИПНИК)
(підпис)

Завдання прийнято до виконання «_____» _____ 2024__ р.

Здобувач вищої освіти _____ (Олександр ШЕВЧЕНКО)
(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, розроблені технічні умови на виливок, процес його виготовлення, вибране технологічне обладнання. Також виконано розрахунок ливниково-живильної системи, описано процес виготовлення форми, наведено характеристику матеріалів, параметри та способи технічного контролю якості виливків.

Об'єкт розробки – процес виготовлення виливка з сірого чавуну «Втулка» масою 9,6 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 contains an analysis of the part design, developed technical specifications for the casting, its manufacturing process, and selected technological equipment. Also, the calculation of the casting and feeding system is performed, the mold manufacturing process is described, and the characteristics of materials, parameters, and methods of technical quality control of castings are given.

The object of development is the process of manufacturing a gray cast iron casting of the NP 90.4-003 housing weighing 9,975 kg for an axial piston pump by casting in a sandy clay mold.

The subject of development is determination of technological parameters, drawing up a description of 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 cast iron castings of medium complexity in serial 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 стержнєвої 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 відливків 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 III класу точності за ГОСТ 26645-85, виготовляється із сірого чавуну СЧ20 за ДСТУ 8833:2019 [3]. На оброблюваній поверхні допускаються ливарні дефекти в межах 2/3 припуску на механічну обробку. Зміщення по лінії роз'єму до 3 мм. На необроблюваних поверхнях допускаються раковини глибиною до 3 мм і діаметром до 6 мм. У місцях спряження стержня і знакових частин допускається кільцеві заусениці до 1,5 мм

Деталь «Втулка» представляє собою циліндр. Маса деталі 9,6 кг, габаритні розміри діаметр 90 × 294 мм.

Оброблюваними поверхнями є зовнішня і торцева поверхні. Останні поверхні необроблені. Даний виливок являється технологічним. Зовнішні поверхня виливка представляє собою прямолінійні контури, зчленовані плавними переходами, які забезпечують деяку деформацію виливка 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 прямолінійною ділянкою довжиною 60 мм квадратного перерізу розміром 30×30 .

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 MFTDUO-MELT фірми OTTO JUNKER [5], технічна характеристика якої наведена в табл. 3.1.

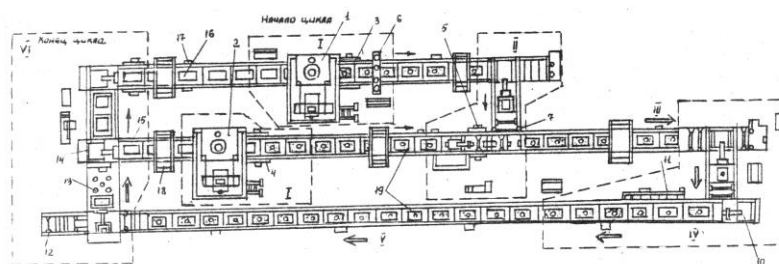
Таблиця 3.1 – Технічна характеристика тигельної індукційної печі промислової частоти марки MFTDUO-MELT фірми OTTO JUNKER

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Ємність печі	т	2 × 1,5
Потужність	кВт	1500
Температура металу	°С	1650
Продуктивність плавки	т/год	2,65
Час розплавлення і перегріву	год	1

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	м³/хв	110
Максимально встановлена потужність	кВт	115
Витрати формівної суміші	м³/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 карусельному напівавтоматі моделі 4509А, технічну характеристику якого наведено в табл. 3.3 [7].

Таблиця 3.3 – Технічна характеристика карусельного напівавтомата моделі 4509А.

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Найбільша маса стержнів	кг	6,0
Продуктивність по стержням	шт/год	120...150
Розміри стержневих ящиків	мм	400 × 300 × 100
Габаритні розміри машини	м	4,1 × 3,4 × 3,0

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 ділянки заливки до ділянки 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 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 ОБ-90

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність	т/год	3,5
Об'єм завантаження	м ³	1,8
Габаритні розміри	мм	3500 × 1650 × 1500
Маса	т	3,9
Потужність електродвигуна	кВт	7,5

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 дробометна камера моделі 86414, технічну характеристику якої наведено в табл. 3.5 [8].

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика дробометної камери моделі 86414

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність камери, т/год	т/год	10
Максимальна вага відливок	кг	12
Дробометний апарат:		
число обертів	об/хв	2500
діаметр дробу	мм	1,5...2,0
Електродвигун А02-62-4:		
потужність, кВт	кВт	17
число обертів	об/хв	1450
ремінна передача, 5-ти струмкова		i = 175

Елеватор: швидкість руху стрічки виробництво крок ковшів об'єм ковша Стрічка: ширина довжина	м/хв т/год мм м ³ мм мм	75,8 24,0 300 0,003 160 15000
Електродвигун А02-21-4: потужність, кВт кількість обертів Редуктор РМ-250 Сито просіву дробу: кількість обертань барабану сита	кВт об/хв об/хв	2,8 1440 i = 23,34 30
Електродвигун А02-21-4: потужність, кВт кількість обертів Редуктор РМ250: крок шнека	кВт об/хв мм	1,1 1400 i = 31,5 250
Конвеєр підвісний цепний: швидкість конвеєра розгорнута довжина траси крок підвісок кількість підвісок	м/хв м мм шт	1 199,5 800 249
Електродвигун А02-32-4: потужність кількість обертів Редуктор РМ350	кВт об/хв	3 1430 i = 31,5

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

Таблиця 3.6 – Технічна характеристика зачисного верстата 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. Грунтовка 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 грунтовка 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

Положення виливка у формі в період заливки вибираємо горизонтальним, так як основна оброблювана поверхня – зовнішня поверхня втулки – повинна бути горизонтальною, для запобігання отримання раковин, дефектів із-за забруднення, рихлості. 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 весь виливок, симетрично (вздовж осі) знаходиться в обох напівформах. Такий роз'єм забезпечує хорошу набивку форми, її складання, надійність встановлення стержнів, зручність контролю розмірів форми, вільне вилучення моделі із форми. З метою запобігання недоливів і усадкових явищ верхньої частини виливка приймаються наступні заходи: на модель верху встановлюємо випар на стороні, протилежній місцю підведення металу для покращення заповнюваності форми, видалення газів з форми та додаткового живлення виливка під час затвердівання.

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 вибираємо згідно [10]. На кресленні межі припусків обводяться тонкою лінією (лист БР - 131.24.15.01.00.00) і вказується величина припуску, яка по ДСТУ 8981:2020 для даної деталі складає 6 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 5, 3, 2 мм. Мінімальні радіуси заокруглень вибираємо із [11]. Радіуси заокруглень проставляємо на кресленні деталі (лист БР - 131.24.15.01.00.00), не вказані радіуси вказуємо на вільному полі креслення.

Розміри стержня вибирають з урахуванням припуску на механічну обробку і ливарну усадку (лист БР - 131.24.15.01.00.00). З'єднання стержня з верхньою і нижньою напівформами виконується за рахунок циліндричних знаків. Розміри бокових 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 24 мм [11].

Величину зазорів між знаками і формою вибираємо в залежності від максимального розміру стержня [11]. Для знаків бокові зазори рівні 2 мм, верхній зазор 0,5 мм.

4 Розрахунок і конструювання ливникової системи

4.1 Визначення габаритних розмірів опоки

Габарити опок визначаються габаритами відливка, числом відливків в одній опоці, розмірами ливникової системи, правильністю розміщення моделей на підмодельній плиті. Правильність розміщення моделей на підмодельній плиті для даного розміру опок визначається коефіцієнтом металоємності, тобто співвідношення загальної ваги металу у формі до ваги формівної та стержньової маси опоки. Коефіцієнт металоємності залежить від складності, товщини тіла і габаритів відливка і знаходиться у межах $0,25 \dots 1,2$.

Відстань між окремими моделями дорівнює $(0,3 \dots 0,5) \cdot h$, де h – висота моделі у верхній та нижній напівформах, відстань від моделі до верху форми та від моделі до низу форми. При формовці в одній опоці декількох відливків, залитих через загальну ливникову систему, відстань в площині роз'єму між ними повинна бути $\leq 20 \dots 25$ мм [11]. Відстань від тіла відливка до стінок опок складає $50 \dots 100$ мм, від стержньового знаку до бокової стінки опоки $0 \dots 50$ мм.

Відстань від моделі до верхньої і нижньої площини рівна $60 \dots 120$ мм [11]. Враховуючи, що для виготовлення відливка застосовуємо автоматичну лінію ІЛ 225 Івано-Франківського заводу "Авто-Літмаш", з розмірами опоки $900 \times 600 \times 200$ мм приймаємо кількість відливків отримуємо в одній опоці рівним 6 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 відливка, $\delta = 22$ мм;

C_1 – вага однієї відливки з ливниковою системою, кг

$$C_1 = C_6 + 0,2 \cdot C_6$$

(4.2)

$$C_1 = 9,6 + 0,2 \cdot 9,6 = 12,84 \text{ кг}$$

Тоді:

$$t = 2 \cdot \sqrt[3]{22 \cdot 12,84} = 8,7 \text{ с}$$

Середня швидкість рівня підйому металу у формі визначається по формулі:

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

(4.3)

де C – висота відливка, мм;

t – оптимальна тривалість заливки, с.

$$V = \frac{90}{8,7} = 10,4 \text{ мм / с}$$

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 відливок:

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

(4.4)

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

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

g – прискорення вільного падіння, м/сек²;

H_p – середній метало статичний тиск, см.

Середній металостатичний тиск визначаємо за формулою:

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

(4.5)

де H_0 – висота металу в чаші, $H_0 = 150$ мм;

p – висота відливка над рівнем підйому металу, $p = 45$ мм;

c – загальна висота відливка, $c = 90$ мм.

$$H_p = 150 - \frac{45^2}{90} = 130 \text{ мм} = 13 \text{ см}$$

$$\sum F_{\text{жс}} = \frac{12,84 \cdot 1000}{0,35 \cdot 8,7 \cdot 10,4 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 13}} = 6 \text{ см}^2$$

$$\sum F_{\text{жс}} = 6 F_{\text{жс}} = 36 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу живильника трапецію (лист БР - 131.24.15.01.00.00).

Розраховуємо площу шлаковловлювача:

$$\sum F_{жс} : \sum F_{ш} : \sum F_{см} = 1 : 1,2 : 1,5$$

(4.6)

$$\sum F_{ш} = \sum F_{жс} \cdot 1,2 = 36 \cdot 1,2 = 43 \text{ см}^2$$

Площа поперечного перерізу стояка:

$$F_{см} = \frac{\sum F_{ш} \cdot 1,5}{1,2}$$

(4.7)

$$F_{см} = \frac{43 \cdot 1,5}{1,2} = 54 \text{ см}^2$$

Оскільки:

$$F_{ш} = \frac{\pi \cdot d^2}{4};$$

(4.8)

тоді:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{см}}{\pi}};$$

(4.9)

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 54}{3,14}} = 8 \text{ см}$$

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 1КО2А 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 1КО6 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

Температура чавуну при заливці повинна бути 1340 – 1460 °С [15]. Заливка може виконуватись з рухомою і нерухомою формою. Розплавлений метал з міксера 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 від 150 до 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 виливкам. В цих умовах суміш інтенсивно розсипається і проходить в пори решітки, та поступає на подальшу переробку. Виливки ковзають на пластинчатий конвеєр, рухаючись на якому вони

охладжуються, подають в галтувальний барабан в якому відділяється ливникова система.

Потім виливки поступають в прохідну дробометну камеру де вони позбавляються від пригару. Після цієї операції виливки проходять зачистку 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

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 сірого чавуна 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 відливається суцільною. Після механічної обробки моделі монтуються на раніше підготовані промодельні плити. При монтажі напівмоделей на плити необхідно враховувати розміри опок. Контур опоки в світлі 900×600 мм. Таким чином обидві промоделі розташовуються на плиті так, щоб відстань від напівмоделей до країв складала не менше 30 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 від 2 до 5 мм [16].

Модельні плити виготовляються із чавуна. Товщина плит складає 50 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 установлюється ливникова система. До плити для нижньої напівформи кріпляться моделі живильників, а на плиту верха – моделі шлаковловлювачів. Підмодельні плити повинні мати елементи 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 застосовується алюмінієвий стержневий ящик. Заготовку ящика отримуємо литтям у піщані форми по дерев'яним моделям.

При виготовленні моделі ящика необхідно врахувати усадку алюмінієвого сплаву, яка складає 1,25 %. 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 [16]. Для стержневих ящиків із алюмінієвих сплавів товщина стінок складає 10 мм. По таблицям [16] визначаємо товщину ребер жорсткості і радіус галтелей. При товщині стінок стержневого ящика 10 мм товщина ребер жорсткості складає 10 мм, а радіус галтелей рівний 5 мм. Стержневий ящик відливається у відповідності з розмірами і 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 венті. Розрахунок вент виконується із співвідношення:

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

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 венті при діаметрі 6 мм дорівнює 28 мм². Звідси для забезпечення щільної набивки стержня необхідно на один вдувний отвір діаметром 31 мм мати 8 вент. Застосовуємо цільовидні прорізи у вентах.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

В бакалаврській роботі розроблено процес виготовлення виливка з сірого чавуну «Втулка» масою 9,6 кг литтям у піщано-глинисту форму.

Виконано аналіз конструкції деталі «Втулка» і технологічних умов на виливок, припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розмірів стержнів та стержневих знаків, вибрано і 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. 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