

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 Корпус НП 90.4-003 методом лиття в
піщано-глинисту форму»**

**«Development of a technological process for the
production of a casting of the Housing NP 90.4-003 by
sand and clay mould casting»**

Виконав: здобувач вищої освіти 4-го курсу
групи ПМ(ОЛ)-21-ЗСК

Олександр Панішко
(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.

Олег СІСА
(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**

Панішко Олександр Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка технологічного процесу виготовлення відливка КорпусНП90.4-003 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. Корпус НП90.4-003
 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	10.05.2024	

Дата видачі завдання «_____» _____ 2024__ р.

Керівник роботи _____ (Олександр СКРИПНИК)
(підпис)

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

Здобувач вищої освіти _____ (Олександр ПАНІШКО)
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на 36 стор. друкованого тексту і містить 10 рис., 8 табл., 11 джерел.

В бакалаврській роботі виконано значний обсяг роботи, який включає в себе докладний аналіз, планування та впровадження різних етапів виробництва виливків, а саме:

1. аналіз конструкції деталі. Даний етап включає в себе докладний аналіз конструкції виробу, визначення його властивостей та вимог до якості;
2. розроблення технічних умов. Документ, який містить вимоги до виготовлення виробу, такі як матеріал, розміри, технологічні параметри тощо;
3. розробка технології виготовлення відливка. Включає в себе вибір оптимального методу лиття, планування послідовності операцій та вибір необхідного обладнання;
4. розрахунок ливниково-живильної системи. Для забезпечення правильного наповнення форми розраховано і спроектовано систему підводу сплаву у форму;
5. технологія виготовлення форми. Включає в себе вибір матеріалу для форми, її виготовлення, обробку та обробку поверхні;
6. характеристика матеріалів. Проведено детальний аналіз матеріалів, які використовуються для виготовлення виливків, включаючи їх властивості та особливості;
7. технічний контроль якості виливків. Визначено параметри контролю якості, проведено випробування та оцінка відповідності виробу вимогам.

Кожен з цих етапів вимагає уважного планування, координації та контролю для забезпечення успішного виробництва виливків відповідно до встановлених стандартів якості.

Об'єкт розробки – процес виготовлення виливка з сірого чавуну корпус НП 90.4-003 масою 9,975 кг для аксіально-поршневого насосу методом лиття в 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 чавунних виливків середньої складності в умовах серійного та масового виробництва.

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

ABSTRACTS

The explanatory note is presented on 36 pages of printed text and contains 10 figures, 8 tables, 11 references.

A significant amount of work was done in the bachelor's thesis, which includes a detailed analysis, planning and implementation of various stages of casting production, namely:

1. analysis of the part design. This stage includes a detailed analysis of the product design, determination of its properties and quality requirements;
2. development of technical specifications. A document that contains requirements for the manufacture of a product, such as material, dimensions, technological parameters, etc;
3. development of casting manufacturing technology. This includes choosing the optimal casting method, planning the sequence of operations and selecting the necessary equipment;
4. calculation of the sprue and feeder system. To ensure proper filling of the mold, the alloy feeding system is calculated and designed;
5. mold manufacturing technology. It includes the choice of material for the mold, its manufacture, processing and surface treatment;
6. characterization of materials. A detailed analysis of the materials used to make the castings, including their properties and features, is carried out;
7. technical quality control of castings. Quality control parameters are determined, tests are performed, and product compliance is assessed.

Each of these stages requires careful planning, coordination and control to ensure the successful production of castings in accordance with established quality standards.

The object of development is the process of manufacturing a gray cast iron casting of the NP 90.4-003 casing weighing 9.975 kg for an axial piston pump by casting in sandy clay

VILIVOK, OPOK, ZHIVILNIK, ALLOWANCE, TOOLING,
MODELING KIT, ROD

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	8
1 Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей.....	9
2 Характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок.....	11
3 Розробка технологічного процесу виготовлення виливка.....	12
3.1. Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.....	12
3.2 Визначення положення виливка у формі.....	17
3.3 Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків.....	18
4 Розрахунок і конструювання ливникової системи.....	19
4.1 Визначення габаритних розмірів опоки.....	19
4.2 Визначення оптимальної тривалості заливки.....	19
4.3 Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.....	21
5 Опис технологічного процесу виготовлення виливка.....	23
5.1 Вибір формувальної та стержньової суміші.....	23
5.2 Формовка.....	24
5.3 Збирання форм.....	25
5.4 Заливка форм.....	25
5.5 Вибивка і обрубка.....	26
6 Опис процесу проектування ливарного оснащення.....	27
ЗАКЛЮЧЕННЯ.....	30
ЛІТЕРАТУРА.....	31
ДОДАТКИ.....	33

ВСТУП

Ливарне виробництво, як основна заготівельна база машинобудування, відіграє критичну роль у виробництві машин та обладнання. Воно забезпечує виготовлення ливарних деталей, які майже у всіх машинах та приладах знаходять широке застосування [1].

Основні процеси ливарного виробництва, такі як плавлення металу, виготовлення форм, лиття металу, охолодження, вибивка, очищення, обрізка відливок, термічна обробка та контроль якості, узгоджуються в цілому технологічному процесі.

Хоча основний спосіб виготовлення відливок - лиття в піщані форми - є широко використовуваним, у багатьох випадках точність та шорсткість поверхні отриманих відливок не відповідають вимогам сучасного машинобудування. Тому важливим є розвиток нових технологічних процесів, спрямованих на підвищення якості та ефективності виробництва [2].

Впровадження сучасних технологій та автоматизації у ливарному виробництві дозволяє підвищувати якість відливок, знижувати витрати матеріалів та енергії, підвищувати продуктивність та покращувати умови праці. Це відповідає сучасним вимогам сталого розвитку та сприяє покращенню якості та ефективності виробництва ливарних виробів.

1 Обґрунтування вибору матеріалу вилівка та опис його властивостей

Вибір матеріалу для вилівка важливий крок, який визначає якість та довговічність деталі. В даному випадку для виготовлення виливок Корпус НП90.4-003 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, 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

Наведені характеристики сірого чавуну, такі як низький опір відриву і практично відсутнє подовження, дійсно свідчать про обмежену пластичність цього матеріалу та його схильність до руйнування під дією навантаження. Це може вплинути на його застосування у виробництві виливків, особливо у випадках, коли потрібні високі механічні властивості або велика пластичність.

У залежності від умов і вимог до виробу, можуть застосовуватися різні підходи до використання сірого чавуну. Наприклад, в деяких випадках можуть використовуватися спеціальні модифікації структури чавуну, або ж можуть бути

розроблені спеціальні обробки, що дозволяють підвищити його міцність та пластичність.

Отже, хоча сірий чавун має свої обмеження, правильне використання і обробка цього матеріалу можуть забезпечити високу якість та ефективність виробництва виливків.

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.

Модифікація структури сірого чавуну дійсно може значно покращити його властивості. Додавання модифікаторів, таких як феросиліцій або силікокальцій, може сприяти утворенню більш дрібних та однорідних графітових структур у матеріалі.

Це важливо з декількох причин. По-перше, більш дрібна і однорідна структура графіту може підвищити міцність матеріалу, роблячи його більш стійким до руйнування під навантаженням. По-друге, це може покращити зносостійкість матеріалу, що робить його більш тривалим у виробництві та під час експлуатації.

Такі модифікації структури сірого чавуну відкривають нові можливості для його застосування в різних галузях промисловості, а також дозволяють підвищити

якість виготовлених виробів. Це може мати значний вплив на виробництво високоякісних виливків та інших деталей з сірого чавуну.

Властивості сірого чавуну, які роблять його популярним матеріалом у багатьох галузях виробництва:

1. здатність поглинати вібрацію. Ця властивість особливо важлива для деталей, які працюють у середовищах з великими механічними навантаженнями або піддаються великій кількості вібрації. Сірий чавун може зменшувати вплив вібрації, що дозволяє підвищити тривалість служби таких компонентів;
2. зносостійкість. Висока зносостійкість робить сірий чавун ефективним для деталей, які піддаються тертю або зношуванню. Він часто використовується для виготовлення бандажів, гальм та інших деталей, які піддаються зношуванню;
3. міцність на стискання. Властивість міцності на стискання робить сірий чавун відмінним матеріалом для компонентів, які піддаються великим механічним навантаженням, наприклад, циліндри або корпуси машин;
4. оброблюваність. Чудова оброблюваність сірого чавуну дозволяє легко виготовляти складні деталі або вигини;
5. стійкість до корозії. Хоча сірий чавун може бути вразливим до корозії у деяких середовищах, він все ж має досить хорошу стійкість до корозії порівняно з багатьма іншими матеріалами.

Узагальнюючи, сірий чавун є універсальним матеріалом з багатьма цінними властивостями, які роблять його корисним у різних галузях виробництва.

2 Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок

Виливок Корпус НП90.4-003 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]. Різностінність не більше 0,8 мм. Зміщення по лінії роз'єму більше 2 мм не допускається.

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

Деталь Корпус НП90.4-003 призначена для аксіально-поршневого насосу. Конструкція даної деталі має просту конфігурацію, її маса - 9,975 кг, габаритні розміри $194 \times 194 \times 90$ мм. Роз'ємних частин немає, роз'єм моделі і форми один. Даний відливочний є технологічним. Для виготовлення даного виливка використовуємо опоку з габаритами $900 \times 600 \times 125$ мм.

3 Розробка технологічного процесу виготовлення відливка

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.

Та Для плавки сплаву марки СЧ 20 обираємо тигельну індукційну піч промислової частоти марки ІЧТ-10/2,5 [5], технічна характеристика якої наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика тигельної індукційної печі промислової частоти марки ІЧТ-10/2,5

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Витрати палива	кВт год/т	650
Потужність	кВт	2500
Температура металу при випуску із печі	°С	1400...1550
Продуктивність плавки	т/год	3,10
Угар і безповоротні втрати	%	2...4

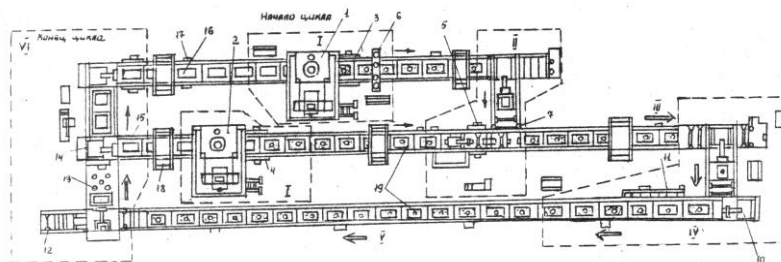
Врахування втрат температури при випуску і транспортуванні чавуну важливе для забезпечення правильної температури заливки форми. Це допомагає уникнути недостатнього розплавлення чи надмірної затвердіння в процесі заливки.

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 вилівка визначають висоту верхньої та нижньої опоки (складає 125 мм). Розміри опоки в світлі 900 × 600 мм створюють достатньо простору для виготовлення великих деталей або кількох менших деталей одночасно.

Таблиця 3.2 - Технічна характеристика автоматичної лінії ІЛ 225

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Розміри опок: висота × довжина × ширина	мм	125 × 900 × 600
Циклова продуктивність	форм/год	240
Максимальне зусилля пресування	кН	2350
Тиск пресування	МПа	4...6
Найбільша металоємність форми	кг	70
Швидкість руху опок по роликівим конвеєрам	м/хв	4...6,75
Час охолодження	хв	30...90
Кількість комплектів опок	шт	100
Кількість підопічних плит	шт	90
Витрати стисненого повітря	м ³ /хв	110
Максимально встановлена потужність	кВт	115
Витрати формівної суміші	м ³ /хв	70...110
Число операторів	чол	5
Габаритні розміри лінії	мм	65200 × 9300 × 6855
Заглиблення лінії	мм	755
Загальна маса лінії	кг	220000

Процес формовки на лінії включає кілька етапів:

1. виготовлення напівформи низу на формувальному пресі В-440М. На цьому етапі використовується формувальний прес для створення напівформ низу і верху з формувальної суміші;
2. обдув напівформ стисненим повітрям. Напівформи направляються на ділянку обдуву, де за допомогою стисненого повітря відбувається видалення частинок формувальної суміші з порожнини форми;
3. збирання форм. Готові стержні з ділянки виготовлення транспортуються до місця збирання форм, де вони проставляються вручну у напівформу низу. Після цього напівформа верха з'єднується з напівформою низу;
4. транспортування до ділянки заливки. Зібрана форма направляється по рольгангам на ділянку заливки, де проводиться наступний етап процесу;
5. заливка форми автоматичним зливником. Заливка форми виконується за допомогою автоматичного зливника з ковшем, ємність якого 250 кг. Перед

залівкою чавун повинен бути очищений від шлаку для забезпечення якісного виливка [5].

Оскільки маса стержнів не перевищує 6 кг, то для їх виготовлення використовуємо універсальний стержневий автомат моделі LAEMPE L10 [7]. Стержні виготовляються у гарячих ящиках з швидкотвердіючих термореактивних сумішей, що дає можливість підвищити точність стержнів, а відповідно і точність відливків.

Таблиця 3.3 - Технічна характеристика піскострільного автомату моделі LAEMPE L10

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Розміри стержневого ящика	мм	600 × 500 × 350
Час циклу	с	18...30
Маса стержня	кг	до 15
Потужність гідроагрегату	кВт	5
Процес		холодне або гаряче твердіння
Вага стержневого ящика	кг	100
Габарити	мм	2000 × 2000 × 2150
Маса	кг	2500

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 SB2005G для остаточного відділення від суміші, технічна характеристика якого наведена в табл. 3.4.

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

Таблиця 3.4 – Технічна характеристика галтувального барабана моделі SB2005G

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність	т/год	4...5
Найбільша маса очищаних виливків	кг	50
Габаритні розміри	мм	7200 × 3500
Маса	кг	9500
Потужність електродвигуна	кВт	51

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

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

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика дробометної камери моделі 42723

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність камери, 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 відсмоктуваного повітря	м³/год	43000
Встановлена потужність	кВт	220
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 моделі 4581, технічну характеристику яких наведено в табл. 3.6 [9].

Контроль якості відливків проводиться зовнішнім оглядом БТК цеху, що дозволяє виявити будь-які дефекти або недоліки. Після виявлення недоліків проводиться виправлення, після чого знову здійснюється контроль якості БТК цеху.

Для захисту від корозії та збереження виливок на складі, а також для підготовки до механічної обробки, застосовується ґрунтовка. Вона наноситься на

виливки після промивання в двокамерній машині та сушіння теплим повітрям. Після промивання виливки занурюються у ванну з ґрунтовкою і просушуються у камері при температурі 60 °С протягом 10 хвилин. Після цього проводиться фарбування виливок.

Таблиця 3.6 – Технічна характеристика зачисного верстата моделі 4851

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Зернистість		80...125
Продуктивність	т/год	0,25...0,30
Маса зачищаємих виливків	кг	до 100
Діаметр абразивного круга	мм	600
Габаритні розміри	мм	5500 × 3870

Після завершення процесу фарбування відливки направляються на склад готових виробів, де вони зберігаються до подальшого використання або відвантаження.

Для приготування формувальної суміші використовуємо змішуючі бігуни турбінного типу моделі SAM 22 DISA Industries A/S [9].

Таблиця 3.6 – Технічна характеристика змішуючих бігунів турбінного типу моделі SAM 22 DISA Industries A/S

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Маса замісу	кг	6000
Тривалість циклу	хв	4...6
Продуктивність	т/год	180...216
Габаритні розміри в плані	мм	Ø 2850
Потужність	кВт	135

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 Корпус НП90.4-003 має два отвори які в подальшому обробляються. Припуск на механічну обробку приймаю 5 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 Корпус НП90.4-003 не вказані радіуси складають 3...4 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 $1^{\circ}30'$.

Розміри стержневих знаків вибираємо у відповідності з 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, знаки стержня 1 - довжиною 40 мм, та для стержня 2 - довжина нижнього знаку - 35 мм, та верхнього 15 мм.

Величини ухилів знакових частин приймаємо відповідно до [12] і складають при висоті знаку від 144 мм – 2° . Величину зазорів між знаками і формою вибираємо в залежності від максимального розміру стержня. Для знаку стержня Ст. 1 ($D = 42$ мм): бокові зазори рівні 0,25 мм, торцевий - 0,15 мм. Для знаку стержня Ст. 2 ($D = 24$ мм): бокові зазори рівні 0,15 мм, торцевий - 0,25 мм.

4 Розрахунок і конструювання ливникової системи

4.1 Визначення габаритних розмірів опоки

Для визначення габаритів опок потрібно врахувати кількість та розміри виливків, розміри ливникової системи та правильне розміщення моделей на підмодельній плиті. Розглянемо дані параметри докладніше:

1. розміри виливка. Вони визначаються конкретним виробом або деталлю, яку виливають. Потрібно виміряти довжину, ширину та висоту виливка;
2. кількість виливків в опоці. У нашому випадку, приймаємо 6 виливків у формі;
3. розміри ливникової системи. Їх також потрібно врахувати, оскільки вони впливають на розмір опок;
4. правильність розміщення моделей на підмодельній плиті. Як правило визначається за допомогою коефіцієнта металоємності, який залежить від складності, товщини тіла та габаритів виливка і знаходиться у межах $0,25 \dots 1,2$;
5. відстань між моделями. Вона повинна бути у межах $(0,3 \dots 0,5) \cdot h$ де h – висота моделі у верхній та нижній напівформах;
6. відстань в площині роз'єму між виливками. Потрібно врахувати цей параметр для забезпечення правильної розстановки виливків в опоці;
7. відстань від тіла виливка до стінок опок і до бокової стінки опоки: Ці відстані також мають відповідати вказаним межам;

Отже, з врахуванням усіх цих параметрів габарити опок становлять $900 \times 600 \times 125$ мм.

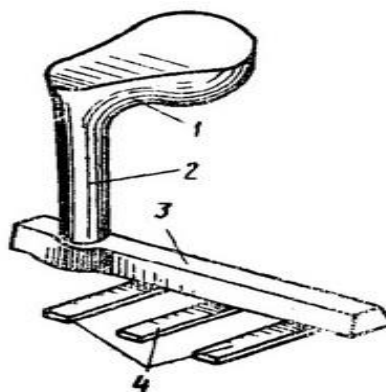
4.2 Визначення оптимальної тривалості заливки

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:

$$G_{\text{металу}} = 6G + (0,3G)6, \quad (4.1)$$

де G - маса відливка, $G = 9975$ г.

$$G_{\text{металу}} = 6 \cdot 9975 + (0,3 \cdot 9975) \cdot 6 = 77805 \text{ г} = 78 \text{ кг}$$

Час заливки форми:

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

де τ - час заливання форми, сек.;

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

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

δ - переважаюча товщина перерізу стінок виливка, мм.

$$t = 1,8 \sqrt[3]{78 \cdot 40} = 26,3 \approx 26 \text{ с}$$

4.3 Визначення площі перерізу каналів ливникової системи

Сумарна площа живильників:

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

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

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

H_p - розрахунковий статичний напір, м.

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

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

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

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

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

$$H_p = 125 - \frac{45^2}{90} = 102,5 \approx 103 \text{ мм} = 0,103 \text{ м}$$

$$\sum F_{ж} = \frac{78}{7000 \cdot 26 \cdot 0,5 \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,103}} = 0,000573 \text{ м}^2 = 5,7 \text{ см}^2$$

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

де n - кількість живильників, $n = 12$

$$F_{\text{жс}} = 5,7/12 = 0,475 \text{ см}^2$$

Приймаємо $F_{\text{жс}} = 0,5 \text{ см}^2$, $\sum F_{\text{жс}} = 12 \cdot 0,5 = 6 \text{ см}^2$

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

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

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

Приймаємо $\sum F_{\text{шл}} = 6,6 \text{ см}^2$, $F_{\text{шл}} = 6,6 : 2 = 3,3 \text{ см}^2$

Сумарна площа стояка: $\sum F_{\text{ст}} = \sum F_{\text{жс}} \cdot 1,15 = 6 \cdot 1,15 = 6,9 \text{ см}^2$

Діаметр стояка $D_{\text{ст}} = 2,964 \text{ см}$, приймаємо 3 см (рис. 4.2).

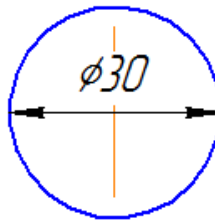


Рисунок 4.2 - Переріз стояка

Розрахунок ливникової воронки:

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

$$D_{\text{г}} = 2,7 \cdot 30 = 81 \text{ мм}$$

На рис. 4.3 показано переріз воронки.

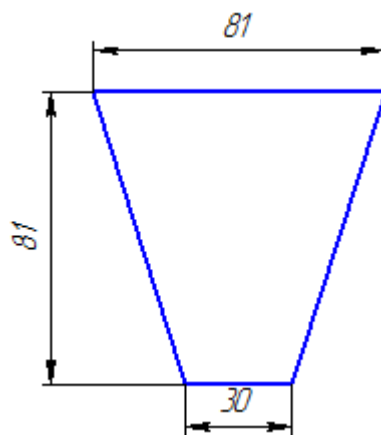


Рисунок 4.3 - Переріз воронки

В зв'язку з технологічною необхідністю приймаємо переріз шлаковловлювача площею $3,32 \text{ см}^2$, з розмірами (рис. 4.4):

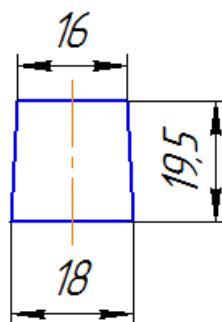


Рисунок 4.4 - Переріз шлаковловлювача

Переріз живильника приймаємо рівним 2 см^2 (рис.4.5).

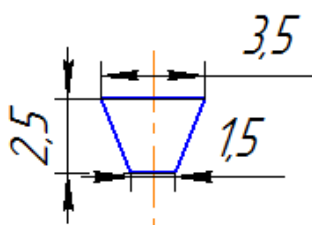


Рисунок 4.5 - Переріз живильника

5 Опис технологічного процесу виготовлення виливка

5.1 Вибір формувальної та стержневої суміші

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

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

Складова суміші і параметри	Одиниці	Числове значення
Оборотна суміш	%	96
Пісок кварцовий K02, K016	%	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

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

Складові суміші і властивості	Одиниці	Числове значення
Пісок кварцовий	%	95,24
Смола СФ	%	3,54
Каталізатори МІ	%	0,7
Гас	%	0,52
Газопроникність	одиниць	80
Міцність на стиснення у сирому стані	МПа	0,005 - 0,01
Вологість	%	1,8 - 2,8

5.2 Формовка

Ливарні форми для відливка Корпус НП90.4-003 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 обдуб 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 і обрубки ливникової системи є комплексними і містять декілька етапів виробництва виливків, а саме:

1. вибивка ливарних форм. Охолоджені форми по конвеєру подаються під пристрій для видавлювання кому суміші, після чого видавлений ком потрапляє на вибивну решітку, на якій безпосередньо проходить процес вибивки;
2. відділення ливникової системи. Вибиті виливки по пластинчатому конвеєру подаються в галтувальний барабан в якому відділяється ливникова система. Цей етап є важливим для підготовки виробів до наступних операцій;
3. очистка виливків і зачищення їх від залишків ливниково-живильної системи. Цей процес дозволяє відокремити пригар та видалити інші недоліки, які можуть виникнути під час формування та заливки форм;
4. контроль якості. Проміжний та кінцевий контроль відіграють важливу роль у забезпеченні високої якості виготовлених виробів. Вони включають перевірку хімічного складу, структури, геометричних розмірів та визначення поверхневих дефектів;
5. візуальна перевірка. Перевірка виливок на наявність поверхневих дефектів виконується візуально.

В цілому, ці процеси забезпечує виготовлення високоякісних відливків, які відповідають усім вимогам якості та стандартам.

6 Опис процесу проектування ливарної оснастки

При крупносерійному і масовому виробництві для збільшення строку служби моделей, їх необхідно виготовляти металевими. Процес виготовлення металевих моделей для виливок Корпус НП90.4-003 включає:

- 1 виготовлення промоделей. Промоделі виготовляються з припуском на механічну обробку - 3,5 мм із з сірого чавуну марки СЧ 20 та урахуванням усадки сплаву. Обробка промоделей відбувається вручну;
- 2 монтаж моделей на промодельні плити. Після механічної обробки моделі монтуються на раніше підготовані промодельні плити. При монтажі необхідно враховувати розміри опок, забезпечуючи відстань від напівмоделей до країв форми;
- 3 монтаж ливникової системи. Ливникова система монтується відповідно до креслення ливникової системи;
- 4 кріплення моделей і ливникової системи: Моделі і ливникова система кріпляться гвинтами;
- 5 використання монтажного шаблону. Монтаж моделей на плитах виконується за допомогою монтажного шаблону, який виготовлений з листової сталі товщиною від 2 до 5 мм [16].

Модельні плити виготовляються із чавуну, що дозволяє забезпечити їх міцність та стійкість до навантажень під час процесу формовки виливків. Чавунні плити формуються за допомогою лиття в спеціальних формах. Товщина плит зазвичай складає 50 мм, щоб забезпечити їх міцність. Робоча поверхня плит обробляється для забезпечення рівності та гладкості, що допомагає у точному розміщенні моделей.

На підготовлені плити накладається монтажний шаблон, за яким встановлюються напівмоделі. Вони функціонують як кондуктори під час свердління отворів. Напівмоделі кріпляться до плит гвинтами.

Після всіх перехованих операцій модельні плити кріпляться на формувальній машині за допомогою болтів. Це забезпечує їх стійкість та надійність під час процесу формовки відливків.

Для виготовлення стержнів на піскострільній машині застосовується алюмінієвий стержневий ящик. Заготовку ящика отримуємо литтям у піщані форми по дерев'яним моделям. Розглянемо процес виготовлення моделі ящика крок за кроком, враховуючи усі необхідні параметри. При виготовленні моделі необхідно врахувати усадку алюмінієвого сплаву, яка складає 1,25%. Це означає, що розміри моделі повинні бути збільшені на 1,25% для компенсації усадки. Також необхідно врахувати припуск на механічну обробку ящика, який складає 0,4 мм [16]. Цей припуск враховується при розрахунку розмірів моделі. Габаритні розміри ящика визначаються відповідно до конкретних вимог і заданих параметрів виробу.

Товщина стінок ящика визначається з використанням номограми, враховуючи матеріал (алюмінієвий сплав) та габаритні розміри. Зазвичай для алюмінієвих стержневих ящиків товщина стінок складає 10 мм [16]. Використовуючи відповідні таблиці, визначаємо товщину ребер жорсткості і радіус галтелей для забезпечення необхідної міцності та стійкості ящика.

Половини ящика відливаються окремо відповідно до розмірів та форми, після чого їх з'єднують за допомогою штирів. Площина роз'єму ящика шліфується для забезпечення якісного прилягання обох половин.

Для видалення повітря з ящика при виготовленні стержня застосовують вентиляційні отвори, які дозволяють повітрю виходити під час його наповнення та уникнути утворення повітряних кишень у виробі. Розрахунок кількості та розмірів вентиляційних отворів зазвичай виконується з урахуванням декількох факторів, таких як об'єм ящика, тиск і швидкість повітря, температура, середній розмір частинок піску та інші.

Один з можливих підходів до розрахунку кількості та розмірів вентиляційних отворів (вент) полягає у визначенні співвідношення загальної площі вентиляційних отворів до загальної площі перерізу ящика. Це співвідношення

може бути встановлене з урахуванням рекомендацій та експертної практики для конкретного типу технології чи устаткування.

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 мм². 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 Корпус НП90.4-003 литтям у піщано-глинисту форму.

Виконано аналіз конструкції деталі Корпус НП90.4-003 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 ливниково-живильну систему, правильна конфігурація якої дозволяє отримати якісні виливки. Отримані площі перерізів каналів ливникової системи забезпечують заповнення ливарної форми металом з оптимальною швидкістю, що виключає утворення у виливках недоливів пов'язаних з наявністю неметалічних включень, дефектів усадкового характеру в період затвердіння виливків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хричиков В. Е., Меньяло О. В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. – Видання друге, доопрацьоване. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. – 89с.
2. Власенко А. М. Матеріалознавство та технологія металів: підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти / А. М. Власенко. – К.: Літера ЛТД, 2019. – 224 с.
3. ДСТУ 8833:2019. Виливки із сірого чавуну з пластинчастим графітом. Загальні технічні умови. – Введ. 2020–01–01. – К.: Фізико-технологічний інститут металів та сплавів Національної академії наук України, 2019. – 10 с.
4. ДСТУ 8981:2020. Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення. – Введ. 2021–01–05. – К.: Технічний комітет стандартизації «Ливарне виробництво» (ТК 177), 2020. – 7 с.
5. 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. Афтандіянц 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