

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 ПК102.4-002.03» методом лиття в  
піщано-глинисту форму»**

**«Development of a technological process for  
manufacturing a casting «Dush PK102.4-002.03» by sand-  
clay mold casting method»**

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

Анатолій Рейда

(прізвище та ініціали)

ОПП «Прикладна механіка»  
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	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри М та ЛВ  
Олександр КУЗИК  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

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

Рейда Анатолій Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка технологічного процесу виготовлення відливка «Втулка ПК102.4-002.03» методом лиття в піщано-глинисту форму

керівник роботи доц., к.т.н. Скрипник Олександр Вікторович

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджено наказом вищого навчального закладу від “ 2 ” 01 2025 року № 9-02

2. Строк подання студентом роботи 15.06.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи – завдання на бакалаврську роботу,

– матеріали переддипломної практики;

– державні стандарти та технічні нормативи

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей, характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок, розробка технологічного процесу виготовлення виливка, розрахунок і конструювання ливникової системи, опис технологічного процесу виготовлення виливка, опис процесу проектування ливарного оснащення

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Втулка ПК102.4-002.03

Модельний комплект верха;

Форма в зборі

## 6. Консультант по роботі

Розділ	Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Процес виготовлення виливка	Скрипник О.В., доц.		

7. Дата видачі завдання 10.03.2025

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської 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 \_\_\_\_\_ (Анатолій РЕЙДА)  
(підпис)

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на 32 стор. друкованого тексту і містить 1 рис., 13 табл., 20 джерел.

У бакалаврській роботі детально розглянуто процес виробництва виливків, який включає:

- аналіз конструкції деталі - визначення властивостей та вимог до якості виробу;
- розробку технічних умов - формування вимог до матеріалу, розмірів та технологічних параметрів;
- розробку технології виготовлення виливка - вибір методу лиття, планування операцій та вибір обладнання;
- розрахунок ливниково-живильної системи - проектування системи підводу сплаву для забезпечення правильного наповнення форми;
- технологію виготовлення форми - вибір матеріалу, виготовлення та обробка форми;
- характеристику матеріалів - аналіз властивостей матеріалів, що використовуються для виготовлення виливків;
- технічний контроль якості виливків - визначення параметрів контролю, проведення випробувань та оцінка відповідності.

Кожен етап вимагає ретельного планування та контролю для забезпечення якості виробництва.

Об'єкт розробки – процес виготовлення виливка з сталі 45Л корпус «Втулка ПК102.4-002.03» масою 0,3 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, ПІДЖИВЛЮВАЧ, ЖИВИЛЬНИК, ПРИПУСК,  
ЛИВАРНА АВТОМАТИЧНА ЛІНІЯ, ШИХТА, МОДЕЛЬНИЙ КОМПЛЕКТ,  
СТЕРЖНЕВИЙ ЯЩИК**

**ABSTRACTS**

The explanatory note is set out on 32 pages of printed text and contains 1 figures, 13 tables, and 20 sources.

The bachelor's thesis describes in detail the process of casting production, which includes:

- analysis of the part design - determining the properties and quality requirements of the product;
- development of technical specifications - formulating requirements for material, dimensions and process parameters;
- development of casting technology - selecting a casting method, planning operations and selecting equipment;
- calculation of the sprue-feeder system - designing an alloy feeder system to ensure proper mold filling;
- mold manufacturing technology - selecting material, manufacturing and processing of the mold;
- each stage requires careful planning and control to ensure production quality.

The object of development is the process of manufacturing a 45L steel casting of the body “Bushing PC102.4-002.03” weighing 0.3 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 design results include the development of a casting mold technology and the selection of modern casting equipment.

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, SPRUE, FEEDER, FEEDER, ALLOWANCE, AUTOMATIC  
CASTING LINE, CHARGE, MODEL KIT, CORE BOX**

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	7
1 Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей.....	8
2 Аналіз конструкції деталі і технологічних умов на відливок.....	10
3 Розробка технологічного процесу виготовлення виливка.....	11
3.1 Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.....	11
3.2 Визначення положення відливка у формі.....	16
3.3 Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків.....	17
4 Розрахунок і конструювання ливникової системи.....	18
4.1 Визначення габаритних розмірів опоки.....	18
4.2 Визначення оптимальної тривалості заливки.....	19
4.3 Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.....	20
5. Описання технологічного процесу виготовлення відливка.....	22
5.1 Вибір формувальної та стержнєвої суміші.....	22
5.2 Формовка.....	23
5.3 Збирання форм.....	24
5.4 Заливка форм.....	24
5.5. Вибивка і обрубка.....	24
6. Опис процесу проектування ливарної оснастки.....	25
Заключення.....	28
Література.....	29
Додатки.....	32

## ВСТУП

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

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

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

Прогрес в техніці лиття заключається в автоматизації, удосконаленні систем виробництва та контролю якості, спрямованих на покращення умов праці, охорони навколишнього середовища, підвищення якості відливків, покращення економічних показників [2]. Таким чином використання сучасних технологій і автоматизації дозволяє підвищувати якість відливків.

## 1 Обґрунтування вибору матеріалу вилівка та опис його властивостей

Для виготовлення вилівка «Втулка ПК102.4-002.03» використовуємо сталь 45Л (ДСТУ 7809:2015) [3]. Ретельний аналіз фізико-механічних властивостей та хімічного складу сплаву дозволив зробити оптимальний вибір, що забезпечує високу якість та тривалий термін служби деталей. Детальні характеристики сталі 45Л наведено в таблицях 1.1, 1.2 та 1.3.

Таблиця 1.1 - Фізичні властивості сталі 45Л за ДСТУ 7809:2015

Марка сталі	Густина, $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Лінійна усадка, $\epsilon$ , %	Ударна в'язкість, КСУ Дж/м <sup>2</sup>	Модуль пружності під час розтягування, $E \times 10^{-5}$ МПа	Питома теплоємність, $c$ , в інтервалі температур від 20 °С до 200 °С включно, Дж/(кг·К)	Коефіцієнт лінійного розширення, $\alpha$ , в інтервалі температур від 20 °С до 200 °С включно, $\alpha \times 10^{-6}/K$	Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda$ , за 20 °С, Вт/(м·К)
сталь 45Л	7826	2,2 – 2,3	59 – 64	2	473	12,7	48

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 45Л за ДСТУ 7809:2015

Сплав	Межа міцності на розрив $\sigma_r$ , МПа	Відносне подовження, %	Твердість за Брінеллем, НВ	Твердість за Роквеллом, НРС, після гаартування
сталь 45Л	600 - 750	16	207 - 255	2 8 -32

Таблиця 1.3 – Хімічний склад сталі 45Л за ДСТУ 7809:2015

Елементи	C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %	Cr	Ni	Cu
В межах	0,42 - 0,50	0,17 - 0,37	0,50 - 0,80	до 0,035	до 0,035	до 0,25	до 0,25	до 0,25
Середнє	0,46	0,27	0,65	-	-			

Вуглець є найважливішим елементом, що визначає структуру і властивості вуглецевої сталі. Навіть мала зміна вмісту вуглецю помітно впливає на властивості сталі. Зі збільшенням вуглецю в структурі сталі зростає вміст цементиту. За вмісту до 0,8 % С сталь складається з фериту і перліту, за вмісту понад 0,8 % С у структурі сталі, крім перліту, з'являються структурно вільний вторинний цементит.

Ферит має низьку міцність, але порівняно пластичний. Цементит має високу твердість, але крихкий. Тому зі зростанням вмісту вуглецю збільшуються твердість і міцність і зменшуються в'язкість і пластичність сталі [4].

Вуглець істотно впливає на технологічні властивості сталі: зварюваність, оброблюваність тиском і різанням. Зі збільшенням вмісту вуглецю погіршується зварюваність, а також здатність деформуватися в гарячому й особливо в холодному стані.

Найкраще обробляються різанням середньовуглецеві сталі, які містять 0,3 - 0,4 % С. Низьковуглецеві сталі за механічної обробки дають погану поверхню та стружку, яка важко видаляється. Високовуглецеві сталі мають підвищену твердість, що зменшує стійкість інструменту.

Постійними домішками у вуглецевих сталях є марганець, кремній, сірка, фосфор, а приховані домішки - гази: кисень, азот, водень.

Корисними домішками є марганець і кремній. Їх вводять у сталь у процесі виплавки для розкислення. У вуглецевій сталі міститься до 0,8 % Mn. Марганець, крім розкислення, у цих кількостях повністю розчиняється у фериті та зміцнює його, збільшує прожарюваність сталі, а також зменшує шкідливий вплив сірки, зв'язуючи її.

У повністю розкисленій вуглецевій сталі міститься до 0,4 % Si. Кремній є корисною домішкою, оскільки ефективно розкислює сталь і, повністю розчиняючись у фериті, сприяє його зміцненню.

Шкідливими домішками в сталі є сірка і фосфор. Основне джерело сірки в сталі - вихідна сировина (чавун). Сірка знімає пластичність і в'язкість сталі, а також надає сталі червоної ламкості під час прокатки та кування.

Основне джерело фосфору - руди, з яких виплавляється вихідний чавун. Фосфор є шкідливою домішкою, здатною в кількості до 1,2 % розчинитися у фериті. Розчиняючись у фериті, фосфор зменшує його пластичність. Фосфор різко відрізняється від заліза за типом кристалічної решітки, діаметром атомів та їхньою будовою. Тому фосфор розташовується поблизу меж зерен і сприяє їх окрихчуванню, підвищуючи температурний поріг холодноламкості.

Приховані домішки - кисень, азот, водень - присутні в сталі або у вигляді твердого розчину у фериті, або в складі хімічних сполук (нітриди, оксиди), або у вільному стані в порах металу. Кисень і азот мало розчинні у фериті. Вони забруднюють сталь хрупкими неметалевими включеннями, що знижує в'язкість і пластичність сталі. Водень перебуває у твердому розчині й особливо сильно окрихчує сталь. Підвищений вміст водню, особливо в хромистих і хромонікелевих сталях, призводить до утворення внутрішніх тріщин - флокенів.

Навіть невеликі концентрації газів різко негативно впливають на властивості, погіршуючи пластичні та в'язкі характеристики сталі. Тому вакуумування є важливою операцією для поліпшення властивостей сталі [5].

Сталь 45Л відноситься до класу якісної вуглецевої і піддається гарту. Для підвищення міцності проводять нормалізацію або гартування з високотемпературним відпуском. Останній варіант обробки складніший, але дозволяє отримати не тільки більш високі характеристики міцності, але і більш високу в'язкість. В сталі 45Л мінімальне значення ударної в'язкості після нормалізації складає  $1080 \text{ кДж/м}^2$ , після закалювання і відпуску з нагріванням до  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  досягає  $60\dots70 \text{ МПа}$ . Після закалювання у воді вуглецева сталь 45Л отримує структуру мартенсит. Однак внаслідок невеликої прокалюємості вуглецевої сталі ця структура у виробках діаметром більше  $20\dots25 \text{ мм}$  утворюється тільки у порівняно тонкому поверхневому шарі товщиною від 2 до 4 мм. Наступний відпуск викликає перетворення мартенситу і троститу в сорбіт тільки у тонкому поверхневому шарі, але не впливає на структуру і властивості перліту і фериту в основній масі виробів. Сорбіт відпуску має більш високими механічними властивостями, ніж ферит і перліт [6].

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

Відливок відноситься до XI класу точності за ДСТУ 8981:2020 [7], виготовляється із сталі 45Л ДСТУ 7809:2015. Різностінність не більше 1 мм, короблення не більше 1 мм, перекіс по роз'єму до 1 мм. На оброблених

поверхнях допускаються одиничні раковини довжиною не більше  $1/3$  кола, шириною не більше 5 мм, або мілкі раковини найбільшим розміром 3 мм в кількості не більше 5 штук. На необроблюваних поверхнях допускаються одиничні раковини розміром не більше 3 мм, глибиною не більше 1 мм і в кількості не більше 5 штук на поверхню. У місцях спряження стержня і форми допускається присутність кільцевих заусениць довжиною до 1,5 мм.

Деталь «Втулка ПК102.4-002.03» представляє собою частину пристрою, який призначено для транспортування важких вантажів. Маса деталі 0,3 кг, габаритні розміри  $\text{Ø}42 \times 48$  мм.

Оброблюваними поверхнями являються посадкові місця на вал. Інші поверхні не оброблюються. Даний відливочок є технологічним. Зовнішні поверхні відливка представляють собою прямолінійні контури, з'єднані плавними переходами, які забезпечують деяку деформацію відливка при його усадці під час охолодження у формі і зниження залишкових напружень в місцях спряження прямолінійних ділянок. Відливочок має один стержень, немає з'єднаних частин, роз'єм моделі і форми один.

### 3 Розробка технологічного процесу виготовлення виливка

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

Для плавки сталі 45Лі обираємо дугову сталеплавильну піч змінного струму марки ДСП-1,5 [8], технічна характеристика якої наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика дугової сталеплавильної печі змінного струму марки ДСП-1,5

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Кількість склепінних (графітованих) електродів	шт	3
Діаметр електроду	мм	150
Хід електроду	мм	1400
Потужність	кВт	1250
Витрата води, яка охолоджує елементи електропіч	м <sup>3</sup> /год	не більше 10
Максимальна температура металу	°С	1650
Номінальна ємність печі	т	1,50
Діаметр ванни	мм	2200

При випуску сталі з плавильної печі та її подальшому транспортуванні, а також при переливі з ковша в ківш, відбувається неминуча втрата тепла. Ці втрати необхідно враховувати при визначенні оптимальної температури заливки форм для забезпечення якісного формування виливків.

Втрати температури на різних етапах:

- випуск з дугової печі - втрати температури на цьому етапі можуть коливатися в межах від 20 до 50 °С. Це залежить від конструкції печі, швидкості випуску та умов навколишнього середовища;
- перелив з ковша в ківш - при переливі сталі з одного ковша в інший втрати температури можуть бути в діапазоні від 30 до 50 °С. У деяких випадках, особливо при тривалому переливанні або при використанні неізольованих ковшів, втрати можуть бути ще більшими. Це пов'язано з більшою площею контакту розплаву з повітрям та стінками ковшів.

Рекомендована температура заливки сталі 45Лі залежить від кількох факторів, включаючи розмір і форму виливка, а також товщину його стінок. При середній товщині стінки виливка 8 мм, з урахуванням втрат тепла, оптимальна температура заливки становить від 1550 до 1580 °С [9].

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.

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, відливочок охолоджується і твердіє, разом з формою пересуваючись по рольгангам з ділянки заливки до ділянки вибивки. За час руху у відливці закінчуються усі перетворення.

Для виготовлення виливка «Втулка ПК102.4-002.03» застосовуємо автоматичну ливарну лінію А22821 (рис. 3.1). На цій лінії весь процес отримання відливка, від операції формовки до вибивки готової форми, автоматизовано. Розмір опоки в світлі 500 × 400 мм. Висота верхньої опоки рівна висоті нижньої –

100 мм. Модельні плити односторонні, на одній плиті змонтовані частини моделі для оформлення низу форми, на іншій – для верха.

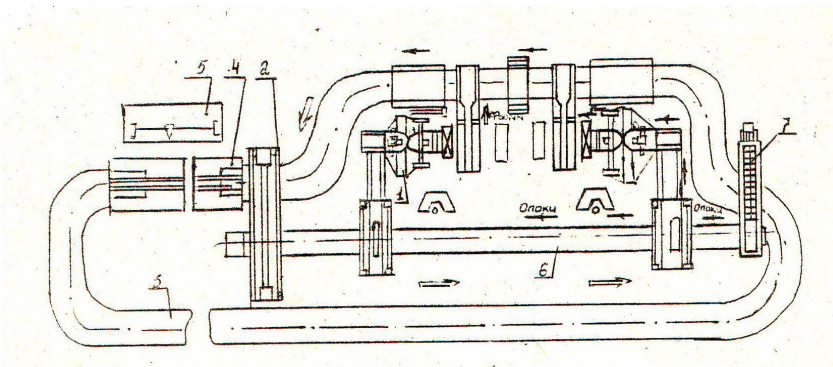


Рисунок 3.1 - Автоматична лінія А22821

Процес формовки починається з виготовлення напівформи низу на формувальному пресі В-440М [10]. Виготовлена напівформа по рольгангам направляється на обдув стисненим повітрям для видалення частинок формувальної суміші, що 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 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 сталь повинна бути очищений від шлаку. Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії моделі А22821 наведена в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії моделі А22821

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Розміри опок (внутрішні)	мм	500 × 400 × 100 - 150
Продуктивність	форм/год	450
Маса відливки	кг	30
Кількість опок	шт	300
Виграти повітря	м /год	225
Потужність	кВт	122
Маса	кг	133800
Габаритні розміри	мм	90000 × 11000 × 3000

Оскільки маса стержнів не перевищує 10 кг, то для їх виготовлення використовуємо універсальний стержньовий автомат моделі 4509 А (табл. 3.3) [10].

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 4509А

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Найбільша маса стержня	кг	10
Продуктивність	земів/год	120...140
Розміри стержневого ящика	мм	600×400×200
Тривалість циклу	с	25
Ємність робочого резервуара	л	25
Потужність електродвигуна	кВт	140
Габарити	мм	4700×3900×3000
Маса	кг	13000

Сталеві виливки необхідно вибивати при температурі 200°С. Форми, що охололи, направляються на ділянку вибивки. Форма видавлюється на спеціальній установці, на якій суміш і відливок видавлюються пресом на вібраційну решітку із нерухомої форми. Опки автоматично зіштовхуються з плити ливарного конвеєра штовхачем і форма видавлюється пресом на вібраційну решітку, де руйнуються спресовані грудки суміші, які запеклися. Потім суміш поступає по лотку на транспортер.

Виливки потрапляють в галтувального барабана моделі 41212 для остаточного відділення від суміші (табл. 3.4) [11].

Таблиця 3.4 – Технічна характеристика галтувального барабана моделі 41212

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність	т/год	4...5
Найбільша маса очищаних виливків	кг	40
Габаритні розміри	мм	7646 × 2528 × 24400
Маса	кг	15200
Потужність електродвигуна	кВт	51

Із барабану виливки направляються на пластинчатий транспортер і подаються ним в очисне відділення для очищення, обрубки і обробки.

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

Технологічний процес очищення виливка складається із наступних операцій:

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

Для остаточної очистки виливків застосовується дробометна камера моделі 42735, технічну характеристику якої наведено в табл. 3.5 [11].

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика дробометної камери моделі 42735

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Продуктивність камери, т/год	т/год	13,9
Габаритні розміри очищуваних виливків	мм	1200 × 2000
Вантажопідіймальність підвіски	кг	1200
Кількість дробометних апаратів	шт	4
Крок підвіски	мм	1600
Об'єм відсмоктуваного повітря	м <sup>3</sup> /год	59000
Потужність електродвигунів	кВт	300
Габаритні розміри камери	мм	15250 × 12000 × 8400
Маса камери	т	96

Для відділення ливниково-живильної системи використовуються стрічкопильні верстати JET MBS-708CST, технічну характеристику якого наведено в табл. 3.6 [12]

Таблиця 3.6 – Технічна характеристика стрічкопильного верстата JET MBS-708CST

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Швидкість руху полотна	м/хв	35,75
Розмір полотна	мм	20 × 0,9 × 2085
Вихідна потужність	кВт	0,75
Габаритні розміри	мм	1280 × 550 × 1480
Маса	кг	190

Виливки зачищаються абразивними кругами з метою видалення заливів, заусениць, перекосів і нерівностей поверхонь. Обдирання виливків здійснюється на стаціонарних обдирочно-зачисних верстатах МЗ-11В (табл 3.7) [13].

Таблиця 3.7 – Технічна характеристика зачисного верстата МЗ-11В

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Розмір шліфувального кола	мм	600 × 100
Продуктивність	т/год	0,75
Маса зачищаємих виливків	кг	до 30
Число обертів кола	об/хв	1430...2150
Габаритні розміри	мм	1700 × 1700 × 1510

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.

Відливки перед фарбуванням промиваються в двокамерній машині і потім сушаться теплим повітрям. Далі виконується грунтовка відливків з зануренням у ванну і просушуванням у камері при 60 °С на протязі 10 хв. Після фарбування відливки направляються на склад готових виробів.

Для приготування формувальної суміші використовуємо змішуючі бігуни з вихровою головкою моделі Л412М [14] (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Технічна характеристика змішуючих бігунів з вихровою головкою моделі Л412М

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Об'єм замісу	м <sup>3</sup>	1,25
Тривалість циклу	с	90...120
Продуктивність	т/год	60...45
Габаритні розміри чаші	мм	2010 × 785
Кількість вихрових головок	шт	1
Габаритні розміри	мм	3090 × 6610 × 2690
Маса	т	7,2

### 3.2 Визначення положення виливка у формі

Положення виливка у формі в період заливки вибираємо горизонтальним, так як оброблювані поверхні – посадочні місця на валу – повинні бути розташовані горизонтально, для запобігання отримання раковин, дефектів через 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 вилівок знаходиться в нижній і верхній напівформах симетрично. Такий роз'єм забезпечує хорошу набивку форми, її складання, надійність встановлення стержнів, зручність контролю розмірів форми, вільне вилучення моделі із форми.

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

Розміри вилівка відрізняються від розмірів готової деталі на величину припусків на механічну обробку. Величину припусків для сталі 45Л вибираємо по ДСТУ 8981:2020 [7]. На кресленні межі припусків обводяться тонкою лінією (лист БР - 131.25.15.01.00.00) і вказується величина припуску, яка по ДСТУ 8981:2020 для даної деталі складає 2,5 мм [7].

Припуск на ливарну усадку виражається в процентах від розміру вилівка. Значення величини ливарної усадки для сталі 45Л вибираємо з [15].

Для середніх вилівоків вільна усадка рівна 2 %. Величну радіуса заокруглень вибираємо в межах  $1/5 \dots 1/3$  середнього арифметичного товщини спряжених стінок. Для даного вилівка радіус заокруглень складає 3 мм. Мінімальні радіуси заокруглень вибираємо із [16].

Радіуси заокруглень проставляємо на кресленні вилівка (лист БР - 131.25.15.01.00.00), не вказані радіуси вказуємо на вільному полі креслення.

Формівні ухили назначаємо в залежності від ливарних розмірів вилівка і прийнятої технології виготовлення форми і стержня у відповідності з ДСТУ 2540-94. Величини мінімальних формівних ухилів вибираємо із [17]. Для даного відливка, величина ухилу складає  $3^\circ$ . Величини ухилів вказуємо на кресленні, не вказані ухили проставляємо на вільному полі креслення.

Розміри стержня вибирають з урахуванням припуску на механічну обробку і ливарну усадку (лист БР - 131.25.15.01.00.00). Розміри стержньових знаків вибираємо у залежності від номінального розміру отвору і відношення довжини отвору до цього розміру, довжина горизонтальні знаки стержнів - 16 мм [18].

Величину зазорів між знаками і формою вибираємо в залежності від максимального розміру стержня [18]. Для горизонтального знака бокові зазори рівні 0,1 мм, торцевий зазор 0,2 мм.

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

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

Габарити опок визначаються габаритами виливка, числом виливків 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...1,2 [18].

Відстань між окремими моделями дорівнює  $(0,3...0,5) \cdot h$ , 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 виливків, залитих через загальну ливникову систему, відстань в площині роз'єму між ними повинна бути  $\leq 20...25$  мм [15]. Відстань від тіла виливка до стінок опок складає 50...100 мм, від стержньового знаку до бокової стінки опоки 0...50 мм.

Відстань від моделі до верхньої і нижньої площини рівна 60...120 мм [15]. Враховуючи, що для виготовлення виливка застосовуємо автоматичну лінію А22821, з розмірами опоки  $500 \times 400 \times 100$  мм приймаємо кількість відливків отримуємо в одній опоці рівним 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 [1]:

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

де  $S_1$  - коефіцієнт,  $S_1 = 2$  [4];

$\delta$  - середня товщина стінок вилівка,  $\delta = 8$  мм;

$C_1$  - вага одного вилівка з ливниковою системою, кг

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

$$C_1 = 0,3 + 0,09 = 0,39 \text{ кг}$$

Тоді:

$$t = 2 \cdot \sqrt[3]{8 \cdot 0,39} = 2,8 \text{ с}$$

Середня швидкість рівня підйому металу у формі визначається по формулі:

$$V = \frac{C}{t}, \quad (4.3)$$

де  $C$  - висота вилівка, мм;

$t$  - оптимальна тривалість заливки, с.

$$V = \frac{42}{2,8} = 15 \text{ мм/с}$$

Оптимальна тривалість заливки забезпечує необхідну швидкість підйому рідкого металу у формі [15].

#### 4.3 Визначення площі перерізу каналів ливникової системи

Загальна площа живильників на один виливок:

$$\sum F_{ж} = \frac{G \cdot 1000}{\mu \cdot t \cdot \gamma \cdot \sqrt{r \cdot g \cdot H_p}}, \quad (4.4)$$

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

$\mu$  – коефіцієнт витрат металу,  $\mu = 0,5$  [19];

$g$  – прискорення вільного падіння, м/сек<sup>2</sup>;

$H_p$  – середній металостатичний тиск, см.

Середній метало статичний тиск визначаємо за формулою:

$$H_p = H_0 - \frac{p^2}{c}; \quad (4.5)$$

де  $H_0$  – висота металу в чаші,  $H_0 = 100$  мм;

$p$  – висота відливка над рівнем підйому металу,  $p = 21$  мм;

$c$  – загальна висота виливка,  $c = 42$  мм.

$$H_p = 100 - \frac{21^2}{42} = 89,5 \text{ мм} = 9 \text{ см}$$

$$\sum F_{ж} = \frac{0,39 \cdot 1000}{0,5 \cdot 2,8 \cdot 7,8 \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 9}} = 2,1 \text{ см}^2$$

Так як виливок має два живильника, то:

$$F_{\text{жс}} = \frac{\sum F_{\text{жс}}}{2} = 1,05 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу живильника у вигляді трапеції (лист БР - 131.25.15.01.00.00).

В зв'язку з тим, що в одній формі одночасно виготовляється 12 відливків, то сумарна площа підживлювачів на форму складає:

$$\sum F_{\text{жс}} = 2,1 \cdot 12 = 25,2 \text{ см}^2$$

Розраховуємо площу шлаковловлювача. Приймаємо для збільшення швидкості заповнення форми звужуючу ливниково-живильну систему із наступним співвідношенням:

$$\sum F_{\text{жс}} : \sum F_{\text{ли}} : \sum F_{\text{см}} = 1,5 : 1,2 : 1 \quad (4.6)$$

Площа поперечного перерізу стояка:

$$F_{\text{см}} = \sum F_{\text{жс}} / 1,5 \quad (4.7)$$

$$F_{\text{см}} = 25,2 / 1,5 = 16,8 \text{ см}^2$$

Оскільки:

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

Діаметр стояка:

$$d_{\text{см}} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{см}}}{\pi}} \quad (4.9)$$

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot 16,8}{3,14}} = 3,3 \text{ см}$$

Приймаємо  $d = 33$  мм.

Площа поперечного перерізу шлаковловлювача:

$$\sum F_{uc} = \sum F_c \cdot 1,2 = 16,8 \cdot 1,2 = 20,16 \text{ см}^2$$

Так як ливниково-живильна система має два шлаковловлювачі (один шлаковловлювач живить шість відливків), то площа перерізу одного шлаковловлювача:

$$F_u = \frac{\sum F_{uc}}{2} = \frac{20,16}{2} = 10,08 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу живильника трапецію (лист БР - 131.25.15.01.00.00).

## **5 Опис технологічного процесу виготовлення вилівка**

### **5.1 Вибір формувальної та стержньової суміші**

У масовому і серійному виробництві рекомендується використовувати єдину формівну суміш.

На автоматичній лінії А22821 використовується формівна суміш з підвищеною рідинотекучістю. Склад та механічні властивості стержньової та формувальної суміші приведені у таблицях 5.1, 5.2.

## 5.2 Формовка

Основну частину форми одержують машинною формовкою. За допомогою машин механізовано дві основні операції - ущільнення, видалення моделі з форми і деякі інші.

Таблиця 5.1 - Склад і фізико-механічні властивості формувальної суміші

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Зворотна суміш	%	96
Пісок кварцовий КО2, КО16	%	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
Властивості суміші		
Міцність на стиснення у сирому стані	МПа	0,12 - 0,15
Газопроникність	одиниць	80
Плинність (по Орлову)	одиниць	80

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

Найменування параметрів	Одиниці	Числове значення
Пісок кварцовий	%	95,24
Смола СФ	%	3,54
Каталізатори М1	%	0,7
Гас	%	0,52
Керосин освітлювальний	%	0,62
Властивості суміші		
Газопроникність	одиниць	80
Міцність на стиснення у сирому стані	МПа	0,005 - 0,01
Вологість	%	1,8-2,8

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 виливки. В об'єм робіт по збиранню форми входять такі операції:

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

### 5.4 Заливка форм

Температура сталі при заливці повинна бути 1550 – 1580°C. Заливка може виконуватись з рухомою і нерухомою формою. Розплавлений метал з індукційної печі потрапляє у попередньо нагрітий ківш барабанного типу ємністю 1т, який транспортується краном. Цей ківш встановлюють на спеціальному стенді для подальшої роздачі металу в розливні ковші.

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

### 5.5 Вибивка і обрубка

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

Потім виливки поступають в прохідну дробометну камеру де вони позбавляються від пригару. Після цієї операції виливки проходять відрізання ливниково-живильної системи на стрічкових пилах та 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 ливарної оснастки**

При крупносерійному і масовому виробництві для збільшення строку служби моделей, їх необхідно виготовляти металевими. Заготовки металевих моделей отримують литтям у піщані форми по дерев'яним моделям (промоделям). Промоделі виготовляються з припуском на механічну обробку моделі і відливки, а також з урахуванням усадки сплаву моделі. Модель виготовляється із сірого чавуна марки СЧ 20. Обробляються моделі вручну, припуск на механічну обробку відливка - 1 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 монтується на раніше підготовані промодельні плити. При монтажі напівмоделей на плити необхідно враховувати розміри опок. Контур опоки в світлі 500×400 мм. Таким чином обидві промоделі розташовуються на плиті так, щоб відстань від напівмоделей до країв складала не менше 300 мм. Ливникова система монтується у відповідності з кресленням ливникової системи. Кріплення моделей і ливникової системи виконується заклепками. Монтаж моделей на плитах виконується за допомогою монтажного шаблону, виготовленого з листової сталі товщиною 2...5 мм [20].

Модельні плити виготовляються із чавуна. Товщина плит складає 40 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 і підживлювачів. Підмоделльні 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 [20]. Для стержневих ящиків із алюмінієвих сплавів товщина стінок складає 10 мм. По таблицям [20] 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 венти. Розрахунок вент виконується із співвідношення:

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

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

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

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

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

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

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

## ЗАКЛЮЧЕННЯ

В бакалаврській роботі розроблено процес виготовлення виливка з сірого чавуну «Втулка ПК102.4-002.03» масою 0,3 кг литтям у піщано-глинисту форму.

Виконано аналіз конструкції деталі «Втулка ПК102.4-002.03» 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.

Для виготовлення моделей та підмодельних плит використано якісні матеріали, що дозволило підвищити їх стійкість та довговічність і точність розмірів.

## 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 7809:2015. Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі. Загальні технічні умови. – Введ. 2015–06–22. – К.: Технічний комітет зі стандартизації «Чавун, прокат листовий, прокат сортовий термозміцнений, вироби для рухомого складу, металеві вироби, інша продукція з чавуну та сталі» (ТК 4), 2016. – 8 с.
4. Матеріалознавство та технологія металів: підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти / А. М. Власенко. – Київ: Літера ЛТД, 2019. – 224 с
5. Позапічне оброблення сталі: способи, процеси, технології [Текст]: підручник для студ. спеціальності 136 «Металургія», освітньої програми «Комп'ютеризовані процеси лиття» / В. О. Шаповалов, Ф. К. Біктагіров, В. Г. Могилатенко; за ред. академіка І. В. Кривцуна. – К.: Хімджест, 2023. – 360 с.
6. Матеріалознавство: навч. посіб. / В.І. Бузило, В.П. Сердюк, А.В. Яворський, О.А. Гайдай / М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2021. – 243 с.
7. 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.
8. Проектування ливарних цехів. Ч.1: підручник / Г. Є. Федоров, М. М. Ямшинський, В. Г. Могилатенко [та ін.]. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 588 с.

9. 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.
10. Сумцов В. П. Устаткування ливарних цехів / Сумцов В. П. – К.: ІСПО, 1993. –552 с.
11. Довнар, Г. В. Устаткування ливарних цехів: навчально-методичний посібник для практичних занять і курсового проектування з дисципліни «Технологічне устаткування ливарних цехів» / Г.В. Довнар. - Мінськ: БНТУ, 2011. - 135 с.
12. <https://jet-ukraine.com.ua/lentochnopilnyy-standok-jet-mbs-708cst>
13. Шуляк В.С. Проектування ливарних цехів: навчальний посібник - М.: МГІУ, 2004. - 92 с.
14. И. Б. Зайгеров. Оборудование литейных цехов. – Минск: Высшая школа, 1980. – 368 с.
15. Добрянський С.С., Малафєєв Ю.М., Пуховський Є.С. Проектування і виробництво заготовок / підручник. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 353 с.
16. Ливарне виробництво: навчальний посібник у двох книгах. Книга 1 / В.П. Можарін; Юргинський технологічний інститут. - Вид-во Томського політехнічного університету, 2011. – 408 с.
17. ДСТУ 2540-94. Виливки сталеві по витоплюваних моделях. Загальні технічні умови. – Введ. 1994–06–09. – К.: Науково-виробниче об'єднання спеціальних методів лиття (НВО «НДІСЛ»), 1996. – 10 с.
18. Технологія ливарної форми (ТЛФ): навч. посіб. до практичних занять і самостійної роботи для студентів галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 136 «Металургія» спеціалізації «Ливарне виробництво» / А. М. Фесенко. – Краматорськ : ДДМА, 2017. – 112 с.
19. 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.

20. 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