

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Матеріалознавства та ливарного виробництва»

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Олександр КУЗИК

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти  
на тему:

**Розробка технологічного процесу виготовлення  
відливка «Корпус 100А» методом лиття в кокіль**

**Development of a technological process for  
manufacturing a casting “Housing 100A” by the method  
of die casting**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го  
курсу групи ПМ(ОЛ)-21  
ОПП «Компютерний інжиніринг  
технологій, робототехніка і 3D друк»  
спеціальності 131 «Прикладна  
механіка»

\_\_\_\_\_ Катерина БАБИЧ  
Керівник роботи к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Олександр СКРИПНИК

Рецензент:

\_\_\_\_\_

**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 МЛВ

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Олександр КУЗИК

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

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

Бабич Катерини Юріївни.

1. Тема роботи: Розробка технологічного процесу виготовлення відливка  
«Корпус 100А» методом лиття в кокіль.

2. Керівник роботи: Скрипник Олександр Вікторович, канд. техн. наук,  
доцент .

3. Строк подання роботи до захисту: 15.06.2024 р. .

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: розробка технології лиття в  
кокіль виливка Корпус НШ100А-3. Виконати огляд існуючих способів  
виготовлення виливків із алюмінієвих сплавів. Розробити технологію  
виготовлення виливка Корпус НШ100А-3 методом лиття в кокіль.

5. Перелік графічного матеріалу: 1) креслення деталі з нанесенням  
модельно-ливарних вказівок; 2) креслення ливарної форми в зборі .

## 6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Оглядовий	Скрипник О. В		
Технологічний	Скрипник О. В		

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури по темі роботи	10.04.2025	
2	Розрахунки по технологічній частині	30.04.2025	
3	Креслення по технологічній частині	20.05.2025	
4	Офломлення пояснювальної записки	10.06.2025	
5	Оформлення презентації роботи	15.06.2025	
6	Здача роботи на кафедру та перевірка на наявність запозичень	15.06.2025	
7	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2025	

Дата видачі завдання

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис керівника

\_\_\_\_\_ Скрипник О. В.

Завдання прийнято до виконання

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

Підпис здобувача

\_\_\_\_\_ Бабич К. Ю.

## Анотація

БАБИЧ Катерина Юріївна. Розробка технології виготовлення виливка Корпус НШ100А-3 методом лиття в кокіль. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2025. 36 с.

Вибрано в якості матеріалу для виготовлення виливків алюмінієвий сплав АК8МЗч, описано хімічний склад, механічні та ливарні властивості сплаву. Для плавки сплаву вибрано плавильно-роздавальні печі мод. 121-006. Описано процес плавки та рафінування алюмінієвих сплавів. Для виготовлення виливків обрано однопозиційну універсальну кокільну машину моделі 82А403. Описано процес підготовки кокілів до роботи та технологічний процес лиття. Для відрізання ливників та підживлювачів використовується стрічкопильний відрізний верстат. Обдирка виливків, зачистка залишків ливників виконується на обдирно-шліфувальних верстатах.

Виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок, описано послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка, розроблені модельно-ливарні вказівки та технічні умови на виливок, розроблено і сконструйовано ливниково-живильну систему та виконано перевірку її ефективності, описано процес проектування ливарного оснащення, описано технологічний процес виготовлення виливка, вибрано параметри контролю якості відливків.

Розроблені технологічні креслення деталі з розробкою модельно-ливарних вказівок та форми в зборі.

**АЛЮМІНІЙ, ДЕТАЛЬ, ВИЛИВОК, МОДЕЛЬНО-ЛИВАРНІ ВКАЗІВКИ, КОКІЛЬ, ЛИВНИКОВО-ЖИВИЛЬНА СИСТЕМА**

## Abstracts

BABYCH Kateryna Yuriivna. Development of technology for manufacturing castings Housing NSh100A-3 by chill casting. Qualification work for the first (bachelor's) level of higher education: TsNTU, 2025. 36 p.

The aluminum alloy AK8M3ch was selected as the material for manufacturing castings, the chemical composition, mechanical and casting properties of the alloy were described. Melting and dispensing furnaces mod. 121-006 were selected for melting the alloy. The process of melting and refining aluminum alloys is described. A single-position universal chill machine model 82A403 was selected for manufacturing castings. The process of preparing chills for work and the technological process of casting are described. A band saw cutting machine is used to cut sprues and feeders. Stripping of castings, cleaning of sprue residues is performed on stripping and grinding machines.

The analysis of the design of the part and the technical conditions for the casting was performed, the sequence of development of the technological process for manufacturing the casting was described, the model-casting instructions and technical conditions for the casting were developed, the sprue-feeding system was developed and constructed and its efficiency was tested, the process of designing the foundry equipment was described, the technological process for manufacturing the casting was described, the parameters for quality control of the castings were selected.

Technological drawings of the part were developed with the development of model-casting instructions and the mold in assembly.

**ALUMINUM, PART, CASTING, MODELING AND FOUNDRY INSTRUCTIONS, SPRUE, MOLD AND FEEDER SYSTEM**

## ЗМІСТ

Стор.

### ВСТУП

<b>1 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ</b>	8
1.1 Хімічний склад та механічні властивості сплаву	8
1.2 Плавильний агрегат для плавки сплаву	9
1.3 Кокільна машина для лиття алюмінієвих сплавів	10
1.4 Вогнетривкі покриття для кокілів та плавильного інструменту	11
1.5 Обладнання для фінішної очистки виливків	13
<b>2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА КОРПУС НШ 100А-3</b>	16
2.1 Аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок	16
2.2 Послідовність розробки технологічного процесу виготовлення виливка	17
2.2.1 Вибір припусків на механічну обробку	18
2.2.2 Припуски на усадку	18
2.3 Розрахунок і конструювання підживлювача	19
2.4 Розрахунок і конструювання ливникової системи	20
2.5 Опис технологічного процесу виготовлення відливка	27
2.6 Опис процесу проектування ливарного оснащення	29
2.7 Аналіз конструкції ливникової системи	30
2.8 Контроль якості відливків	31
<b>ВИСНОВКИ</b>	32
<b>ЛІТЕРАТУРА</b>	34
<b>ДОДАТКИ</b>	36

## ВСТУП

**Актуальність дослідження.** Кокільне ливарне виробництво та інші спеціальні види виготовлення виливків різних розмірів і форм відіграють важливу роль для використання в різноманітних галузях промисловості. Лиття являється одним із найбільш дешевих методів виготовлення заготовок та готових виробів. Особливості проходження кристалізації алюмінієвих сплавів та утворенню їхньої внутрішньої структури, у виливках покращені фізичні та механічні властивості порівняно з другими способами виготовлення заготовок. Сплави на основі алюмінію знайшли широке використання в галузях приладобудування, машинобудування, в виробництві автомобілів та авіаційній галузях, а також широко використовуються у хімічній промисловості. Сплави на основі алюмінію мають високу питому міцність, мають чудові ливарні характеристики, добре обробляються різанням та мають інші переваги, що робить виробництво алюмінієвих заготовок важливим елементом серед ливарних сплавів. Лиття в кокіль є одним із найзатребуваніших способів лиття сплавів на основі алюмінію. Цей метод характеризується дуже високою точністю геометричних розмірів, має низький відсоток ливарних дефектів, характеризується мінімальними припусками при механічній обробці, екологічністю, високою продуктивністю, має низькі енергозатрати та матеріалозатрати. Також, він дає можливість використовувати автоматизацію та роботизацію процесу. Проте лиття алюмінієвих виливків має і недоліки, до яких варто віднести відносно високу вартість шихтових матеріалів, складність обладнання та оснастки. Тому питання розробки тех. процесу гравітаційного лиття, а також сам процес розробки ливниково-живильної системи і кокільного оснащення є важливим і актуальним для подальшого вдосконалення цього способу.

**Мета та завдання дослідження.** Основною метою даної являється розроблення технології гравітаційного лиття в кокіль для корпусного відливка типу «Корпус НШ 100А-3». Для досягнення поставленої мети потрібно виконати наступні задачі:

- зробити вибір устаткування для виготовлення виливків і опис роботи ливарного обладнання;
- визначити послідовність розроблення тех. процесу виготовлення заготовки.
- розрахунок і розроблення ливниково-живильної системи;
- опис технологічного процесу виготовлення відливка;
- деталізація проектування ливарного оснащення;
- обґрунтування параметрів контролю якості відливків.

Об'єкт дослідження: технологічний процес лиття алюмінієвих сплавів у кокіль.

Предмет дослідження: створення модельно-ливарного оснащення для виготовлення виливка «Корпус НШ 100А-3».

Практичне значення: здійснено розрахунок і проектування модельно-ливарного оснащення для виготовлення виливка «Корпус НШ 100А-3».

Особистий внесок: проведено вибір матеріалів і обладнання для виготовлення виливка «Корпус НШ 100А-3», виконано опис їхньої роботи, розраховано ливниково-живильну систему, описано етапи проектування ливарного оснащення, а також розроблено креслення модельно-ливарних вказівок та форми у зібраному вигляді.

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ

Характеристика матеріалів та обладнання, які застосовуються в ливарному виробництві, має вирішальне значення для забезпечення якості та економічної ефективності відливок. Саме тому вибір сировини та оснащення слід ретельно адаптувати до конкретного технологічного процесу з урахуванням технічних вимог до відливка, типу виробництва, способу лиття тощо. Під час вибору матеріалів необхідно враховувати їхню якість, доступність, вартість, екологічні аспекти та зручність у застосуванні. [13] Для лиття алюмінієвих сплавів зазвичай використовують чушковий алюміній із відповідним хімічним складом, відходи власного виробництва, алюмінієвий металобрухт тощо. Хімічний склад коригується за допомогою чушкового первинного алюмінію та різних лігатур, що містять необхідні елементи, такі як мідь, кремній, магній, марганець, титан, олово та інші. Для процесу рафінування алюмінієвих сплавів використовуються спеціальні флюси, які внаслідок хімічної реакції з утворенням газів активно перемішують розплав. Це сприяє захопленню неметалевих домішок із наступним їхнім підняттям на поверхню розплаву. Завершивши рафінування, метал витримують у розплавленому стані, після чого шлак спливає на поверхню і знімається шлакозчищувачем у спеціально підготовлену ємність.

## 1.1 Хімічний склад і механічні властивості сплаву

Для виготовлення корпусу НШ 100А-3-01 використовується сплав АК8МЗч відповідно до вимог стандарту ДСТУ 2839-94. [29;78]. Застосування саме цього сплаву дозволяє отримати необхідні механічні характеристики, такі як міцність, твердість і відносне видовження.

Використання термічної обробки за режимом Т1 значно покращує механічні властивості відливоків і забезпечує високу якість готової продукції. Хімічний склад сплаву наведено в табл. 1.1. Механічні властивості сплаву наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву

Сплав	Si	Mg	Cu	Mn	Ti	Zn	Fe	Al
AK8M3ч	7,0-8,5	0,2-0,45	2,5-3,5	-	0,1- 0,25	0,5-1,0	0,45	основа

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сплаву

Сплав	Вид ТО	Границя міцності при розтягуванні кгс/мм <sup>2</sup> (Па)	Відносне видовження, %	Твердість НВ	Лінійна усадка, %	Рідкоплинність (мм) по спіральній пробі
AK8M3ч	T1	30 (294)	3,5	90...125	1,25	410

Алюмінієві сплави належать до групи кольорових сплавів і завдяки своїм численним перевагам широко використовуються у виробництві виливків для машинобудування.[14;17]. Ці сплави мають алюмінієву основу і включають один або кілька легувальних елементів, які сприяють покращенню як механічних характеристик (твердість, міцність, відносне видовження), так і спеціальних властивостей, таких як оброблюваність різанням, рідинотекучість і пластичність.

## 1.2 Плавильний агрегат для виготовлення сплаву

Плавлення сплаву здійснюється у тигельній печі опору моделі 121-006, розрахованій на об'єм до 220 кг. Процес плавлення триває від 120 до 150 хвилин.[16] Перед початком роботи графітовий тигель необхідно витримати з відкритою кришкою при температурі 200 °С протягом двох годин. Після

цього тигель нагрівають до 950 °С [30] і витримують протягом однієї години для покриття його поверхні глазур'ю.

Процес завантаження шихтових матеріалів проводять відповідно до розрахунків складу шихти у такому порядку: відходи власного виробництва (ливники, підживлювачі, деталі з дефектами), які за хімічним складом відповідають готовому сплаву АК8МЗч, а також чушковий сплав АК8МЗч.[17] Для модифікації сплаву використовують препарат ECOSAL – AL 113.S, який сприяє подрібненню зерен, покращенню структури й, як результат, підвищенню механічних властивостей виливків. Під час плавки частина металу втрачається через утворення шлаку, оксидних плівок та випаровування. Додаткові втрати виникають на етапі розливання у вигляді зливів і розбризувань. Дані про втрати металу при плавці алюмінієвого сплаву АК8МЗч у тигельній печі опору моделі 121-006 наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Втрати при плавці алюмінієвих сплавів

Марка сплаву	Види втрат, %			
	Шлак	Оксидні плівки	Угар	Загальні втрати
АК8МЗч	4,5		1,61	6,11

### 1.3 Кокільна машина для виробництва алюмінієвих виливків

Для отримання вилівка корпусу НШ100А-3 застосовується однопозиційна універсальна кокільна машина моделі 82А403,[28] оснащена гідравлічним приводом. Технічні характеристики цієї машини наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Технічна характеристика кокільної машини мод. 82A403

Параметр, од. вим.	Значення
Продуктивність, відл./змiна 12 год.	62
Зусилля змикання половинок кокiлю	30
Розмiри пiдкокiльних плит, мм	200-800
Хiд нижнього цилiндру, мм	530
Габаритнi розмiри, мм:	
- довжина	2860
- ширина	1650
- висота	1550
Розмiри кокiля, мм	360x550x365
Маса машини, кг	5000

#### 1.4 Вогнетривкi покриття для кокiлiв та плавильного iнструменту

Для забезпечення вогнетривкостi використовуються покриття на основi оксиду цинку, графiту або графiтокерамiчної бази, склад яких наведено в таблицi 1.5:[27]

Таблиця 1.5 – Склад вогнетривких покриттiв для кокiлiв та плавильного iнструменту |

Складова покриття	Номер покриття			
	П1	П2	П3	П4
Оксид цинку	50 г	250 г	450 г	-
Вода технiчна	1 л	1 л	1 л	1 л
Рiдке скло	-	100 г	-	-
Gillolin AL 223	-	-	-	250 г

Процес приготування покриттiв (П1, П2, П3) на основi оксиду цинку:

1. У ємнiсть для приготування покриття налити воду, пiдiгріту до температури 60–80 °С.
2. Просiяти оксид цинку через сито з розмiром осередкiв 0,5 мм.

3. Засипати дрібнозмелений оксид цинку у воду, дотримуючись зазначених пропорцій, і ретельно перемішати.

4. Для приготування покриття П2 додати рідке скло у вказаній кількості та повторно перемішати до однорідності.

Процес приготування покриття (П4) на основі препарату Gillolin AL 223:

1. В наповнену одну частину препарату Gillolin AL 223 ємність додати від трьох до п'яти частин води температури навколишнього середовища (20 °С) [26].

2. Ретельно перемішати суміш до отримання однорідного складу.  
Нанесення вогнетривкого покриття на плавильний інструмент:

1. Очищення поверхонь плавильного інструменту (ковші, счищальки, дзвінки) від залишків старого покриття, шлаку, настилу, окислів та інших забруднень.

2. Нанесення рівного шару вогнетривкого покриття за допомогою пульверизатора, пензля або методом занурення в об'єм матеріалу.

3. Нагрів інструменту до температури 150...200 °С. [25]

4. Відновлення покриття здійснюється у міру його руйнування.

Нанесення вогнетривкого покриття на кокілі:

1. Очищення формуючої порожнини кокіля від залишків старого покриття, шлаку та забруднень.

2. Продування внутрішніх поверхонь кокіля стисненим повітрям.

3. Утеплення підживлюючої частини кокіля азбестовим листом товщиною 5 мм.

4. Нагрів кокіля до температури від 150 до 200 °С за допомогою інжекційної горілки або заповненням рідким металом.

5. Заливка плавкого металу у формуючу порожнину струменем, починаючи з 1/8 об'єму литва та поступово доводячи до готового виробу, виконуючи 6–7 промивних заливок.

6. Кокіль покривають вогнетривким шаром, після чого у його внутрішню порожнину встановлюють інжекційний пальник. Потім проводять сушіння кокіля протягом 5...7 хвилин. У разі руйнування покриття кокіль повторно фарбують. Після нанесення вогнетривкого покриття форму нагрівають до заданої температури, що не перевищує 200 °С. Після підвищення температури вилівка до 400 °С форму розкривають і вилучають готовий виріб [24]. Температура заливки визначається хімічним складом сплаву, а також конфігурацією та товщиною стінок вилівка. Тривалість витримки вилівка у формі обирається з урахуванням його розмірів і маси. Передчасне розкриття форми може спричинити руйнування виробу через недостатню міцність. Занадто тривала витримка також небезпечна, оскільки виникають усадочні тріщини через недостатню гнучкість форми. Оптимальну тривалість витримки визначають за допомогою розрахунків і уточнюють експериментальним шляхом під час впровадження технологічного процесу.

### **1.5 Обладнання для фінішної очистки виливків**

Для відрізання ливниково-живильної системи та підживлювачів застосовують стрічкопильний верстат JET HVBS-812 [18], технічні характеристики якого наведені в табл. 1.6. Даний верстат призначений для розпилювання практично всіх матеріалів, які використовуються в машинобудуванні, включаючи алюміній, його сплави, кольорові метали та чорні метали зі сплавами. Ці верстати вирізняються високою надійністю, міцністю конструкції та ефективністю роботи, поєднаними з компактними розмірами й зручністю в монтажі [31]. Стрічкопильний верстат має можливість різання під кутом, що забезпечується за рахунок використання поворотних лещат або оперативного повороту плеча пили. Для великих пильних полотен передбачено систему охолодження, яка покращує

ефективність роботи й запобігає перегріву. Основні конструктивні особливості верстата включають:

- Великі шківни з оптимізованою масою та механізований упор для легкого натягу полотна.
- Подвійні регульовані роликові підшипники, які виступають напрямними для полотна.
- Гідравлічну систему регулювання подачі під час різання матеріалу із кінцевим вимикачем.
- Зручні лещата, що дозволяють коригувати розташування губок, швидкість затискання та кут повороту до 45°.
- Широкий діапазон налаштувань швидкості різання і подачі.
- Автоматичне відключення різання після наскрізного пропилювання заготовки.
- Можливість регулювання кінцевих вимикачів.
- Систему подачі охолоджувальної рідини в зону різання, яка сприяє збереженню робочих характеристик полотна та заготовки. Це обладнання забезпечує якісне виконання роботи з високим рівнем точності й комфорту для оператора [23].

Таблиця 1.6 – Технічна характеристика стрічкопильного верстата  
JET HVBS -812R

Зона обробки при 90 <sup>0</sup>	Діаметр 200 мм
	180x305 мм
Зона обробки при 45 <sup>0</sup>	Діаметр 127 мм
	120x125 мм
Розміри полотна пили	19x0,9x2362 мм
Регулювання лещат	0-45 <sup>0</sup>
Діаметр шківни пили	290 мм
Швидкості пластин	25,40,60,80 мм/хв
Потужність мотору	600 Вт/с

Ємність охолоджувальної рідини	8 л
Продуктивність	0,2 т/год
Габаритні розміри верстата	1780x790x1120 мм

Для фінальної обробки відливок використовуються шліфувально-обдирні верстати (табл. 1.7). Верстат моделі 3М634 призначений для зачищення та видалення облоя, залишків литниково-живильної системи, задирок та інших нерівностей на виливках. [22, 27]. Крім того, цей верстат дозволяє виконувати різні слюсарні операції, такі як зняття задирок, формування фасок, заточування інструментів тощо.

Таблиця 1.7 – Технічна характеристика обдирно-шліфувального верстату

Характеристика	Величина	Одиниці
Кількість шліфувальних кругів	2	шт.
Діаметр круга	400	мм
Максимальна ширина круга	40	мм
Посадковий діаметр круга	203	мм
Висота центру круга від підлоги	800	мм
Відстань між кругами	700	мм
Частота обертання шпинделя	1398	об/хв
Маса виливків	20	кг
Потужність двигуна	2,8	кВт
Годинна продуктивність	0,3 – 0,5	т/год
Габарити верстата	900x600x1200	мм
Маса	450	кг

## 2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА КОРПУС

### НШ 100А-3-01

## 2.1 Аналіз конструкції деталі та технічних вимог на виливок

Деталь корпусу НШ100А-3-01 виготовляється методом лиття в кокіль із алюмінієвого сплаву марки АК8МЗч. Хімічний склад і механічні властивості цього сплаву наведені в розділі 1, табл. 1.1 та 1.2 Габаритні розміри деталі становлять 185×185×212 мм (докладніше див. креслення деталі). Згідно з конструкцією насоса, корпус призначений для встановлення в ньому валів із зубчастими шестернями, які виконують функцію механізму, що забезпечує переміщення масла у гідросистемі. У зв'язку з цим у корпусі передбачено два отвори діаметром 40,5 мм. На стороні розрізу розташовано два платика розміром 96 мм, які формуються за допомогою плоских вставок і металевих стержнів. Внутрішня поверхня деталі має складну конфігурацію. Максимальна товщина стінки відливка становить 41 мм, а мінімальна – 21 мм. Також відливається один отвір діаметром 33 мм, який утворюється за допомогою металевих стержнів. Технічні вимоги допускають на необроблюваних поверхнях окремі раковини, шлакові включення, забруднення та інші дефекти в кількості не більше 5 одиниць на деталь, діаметром до 2 мм та глибиною до 1,5 мм. Базові поверхні А і Б повинні бути гладкими, без втиснень та здуттів. Загальний рівень пористості не повинен перевищувати еталон №2 за шкалою пористості згідно з ДСТУ 3015-95, а зональна пористість має відповідати не вище бала №3 за шкалою пористості ДСТУ 2839-94. [21, 122].

Для забезпечення рівномірної товщини стінок відливка, що дозволяє уникнути термічних вузлів і концентрації ливарних напруг, технологічний процес виготовлення деталі передбачає застосування лиття в кокіль.

При цьому одночасно виготовляється лише одна деталь, що дозволяє спростити обладнання для механічної обробки. Зовнішня поверхня відливка формується внутрішньою поверхнею кокілю, а внутрішня поверхня створюється за допомогою блоку стрижнів і вставок.

## 2.2 Послідовність розробки технологічного процесу виготовлення ВИЛИВКА

Розробка технологічного процесу виготовлення відливка включає низку етапів, які включають визначення його положення у формі, лінії роз'єму, розташування підживлювача та місця підводу металу. Конструкція деталі визначає оптимальне положення відливка в формі. Найкраще положення забезпечує отримання точних розмірів та запобігає дефектам, таким як газові та усадочні раковини. Відливки має просту зовнішню поверхню, передбачену для механічної обробки. Для досягнення однакових властивостей відливка, раціонального розташування підживлювача, направлено затвердіння металу та мінімізації кількості ліній роз'єму прийнято такі рішення:

1. Відливки розміщуються в кокілі торцем, причому поздовжня вісь елемента паралельна лінії вертикального роз'єму.

2. Підживлювач встановлено на верхній частині циліндричної поверхні для забезпечення рівномірного живлення матеріалом і направлено затвердіння.

3. Стержні монтуються з нижньої сторони, а вставки встановлюються безпосередньо в кокілі. Цей підхід дає низку переваг:

1. Відливки можна легко видалити з кокілю, що знижує витрати на його виготовлення.

2. Відсутність виступаючих частин допомагає зменшити кількість стержнів та спрощує обробку внутрішньої поверхні кокілю.

3. Ливарні ухили забезпечують зручну механічну обробку – 3 мм як із внутрішньої, так і з зовнішньої сторони.

4. Простота лінії вертикального роз'єму підвищує стійкість кокілю.

5. Конструкція відповідає умовам для рівномірного охолодження.

6. Відсутність гострих внутрішніх кутів і невеликих глибоких отворів спрощує формування внутрішньої поверхні кокілю.

7. Базова частина відливка розташована в одній частині кокілю, що забезпечує точність розмірів.

8. Аналіз конструкції показує:

а) деталь має складну внутрішню геометрію;

б) через різну товщину стінок конструкція відливка суттєво відрізняється від первісної деталі.

Це сприяє раціональному використанню складних стержнів, а окремі ділянки відливка легше піддаються обробці. Таким чином, правильно організований процес дає можливість створити якісний виріб зі зменшеними витратами та підвищеною ефективністю виробництва.

**2.2.1 Вибір припусків на механічну обробку.** Величина припуску на механічну обробку залежить від роду сплаву, що заливається, розмірів відливка, точності виготовлення, положення в кокілі, складності конфігурації.

Припуски на механічну обробку приймаємо [2, 144]:

- нижня і зовнішня бокові поверхні - 2 мм;

- внутрішні бокові поверхні - 2 мм;

- верхні поверхні - 3,0 мм.

Допуски на розміри металевих стержнів:

до 40 мм  $\pm 0,35$  мм;

41 - 100 мм  $\pm 0,35$  мм;

101 -250 мм  $\pm 0,65$  мм.

Ухили стержнів для вільного видалення стержнів при вибивці приймаємо 3°.

**2.2.2 Припуски на усадку.** Під припуском на усадку розуміють збільшення всіх лінійних розмірів кокілю на величину усадки матеріалу відливка. Припуск на усадку виражається у відсотках від розмірів відливка. З

урахуванням матеріалу відливка (алюмінієвий сплав АК8МЗч) усадку приймаємо 1,8...1,9 %.

### 2.3. Розрахунок і конструювання підживлювача

Одним із ключових етапів розрахунку підживлювача є визначення його оптимальної форми, адже підживлювач виконує роль резервуара для рідкого металу та забезпечує живлення відливка. Аналіз свідчить, що для горизонтального перерізу найкращим вибором у цьому випадку є коло. Визначення параметрів підживлювача проводять із врахуванням таких вимог: час твердіння підживлювача має перевищувати час твердіння підживлюваного вузла; об'єм підживлювача повинен бути достатньо великим, щоб компенсувати усадку металу під час затвердіння; усадочна раковина не повинна виходити за межі підживлювача або досягати його шийки.

Об'єм усадочної раковини визначають за формулою:

$$V_P = \beta \cdot (V_{\text{відл}} + V_n), \quad (2.1)$$

де  $V_{\text{відл}}$  - об'єм відливка,  $\text{см}^3$ ;

$V_n$  - об'єм підживлювача,  $\text{см}^3$ .

$$V_{\text{відл}} = \pi \cdot r^2 \cdot h, \quad (2.2)$$

де  $r$  – радіус відливка,  $r = 9,0$  см;

$h$  – висота відливка,  $h = 18,5,6$  см.

$$V_{\text{відл}} = 3,14 \cdot 9,5^2 \cdot 18,5 = 5353,6 \text{ см}^3$$

Визначаємо об'єм підживлювача:

$$V_n = \frac{\beta}{k} \cdot V_{\text{відл}}, \quad (2.3)$$

де  $\beta = 0,035 \dots 0,08$  коефіцієнт [4].

$k = 0,25$  [4].

$$V_n = \frac{0,08}{0,25} \cdot 5353,6 = 1713,2 \text{ см}^3$$

$$V_p = 0,08 \cdot (5353,6 + 1713,2) = 565,4 \text{ см}^3$$

Приймаємо підживлювач круглої форми за специфіки конструкції відливка.

Приймаємо  $d = 11$  см,  $d = 9,5$  см [3], тоді висота підживлювача:

$$h = 565,4 / 80,76 = 7 \text{ см}$$

Приймаємо висоту підживлювача 70 мм.

## 2.4 Розрахунок і конструювання ливникової системи

Ми приймаємо нижню ливникову систему, оскільки вона є оптимальною для відливків подібної форми. Вона забезпечує рівномірне і безтурбулентне заповнення форми, мінімізуючи явища спінювання, розбризкування й окислення розплаву, а також ефективно утримує неметалеві включення, які могли б потрапити у форму. Така система сприяє задовільній заповнюваності, покращує процес витіснення повітря та газів із порожнини форми й загалом забезпечує високоякісний результат.

Крім того, нижня ливникова система легко відділяється в процесі обрубки й вимагає меншого об'єму металу порівняно з вертикально-щільовою системою. Залежно від розмірів відливка та умов лиття, вона виконує три ключові функції: забезпечення заповнюваності, підтримання ламінарного потоку й утримання шлаку. Такий підхід найбільш повною мірою відповідає вимогам до ливникових систем і широко застосовується для лиття виробів із легких сплавів. Визначаючи вихідні дані, виходимо з маси відливка 9,142 кг і висоти 18,5 см Орієнтовно задаємо наступне співвідношення:

$$F_c: F_k: F_{жс} \quad (2.5)$$

де  $F_c$  - площа перерізу стояка, см<sup>2</sup>;

$F_k$  - площа поперечного перерізу колектора, см<sup>2</sup>;

$F_{жс}$  - площа поперечного перерізу живильника, см<sup>2</sup>.

Визначаємо висоту стояка:

$$h_c = h_{відл} + h_{під} \quad (2.6)$$

де  $h_{відл}$  - висота відливка, см;

$h_{під}$  - висота підживлювача, см

$$h_c = 18,5 + 7 = 25,5 \text{ см}$$

Виходячи із залежності між висотами стояка і чаші, приведений на стор.113 [3] для  $h = 200$  мм приймаємо висоту чаші  $H_c = 70$  мм.

Розраховуємо початковий гідростатичний напір по формулі:

$$H_o = h_c + h_{ч}, \quad (2.7)$$

де  $h_ч$  - рівень розплаву в чаші, мм; приймаємо  $h_ч = 70$  мм;

$h_с$  - висота стояка, мм.

$$H_o = 200 + 65 = 270 \text{ мм.}$$

По кресленню відливка знаходимо площу перерізу А-А на рівні підводу розплаву.

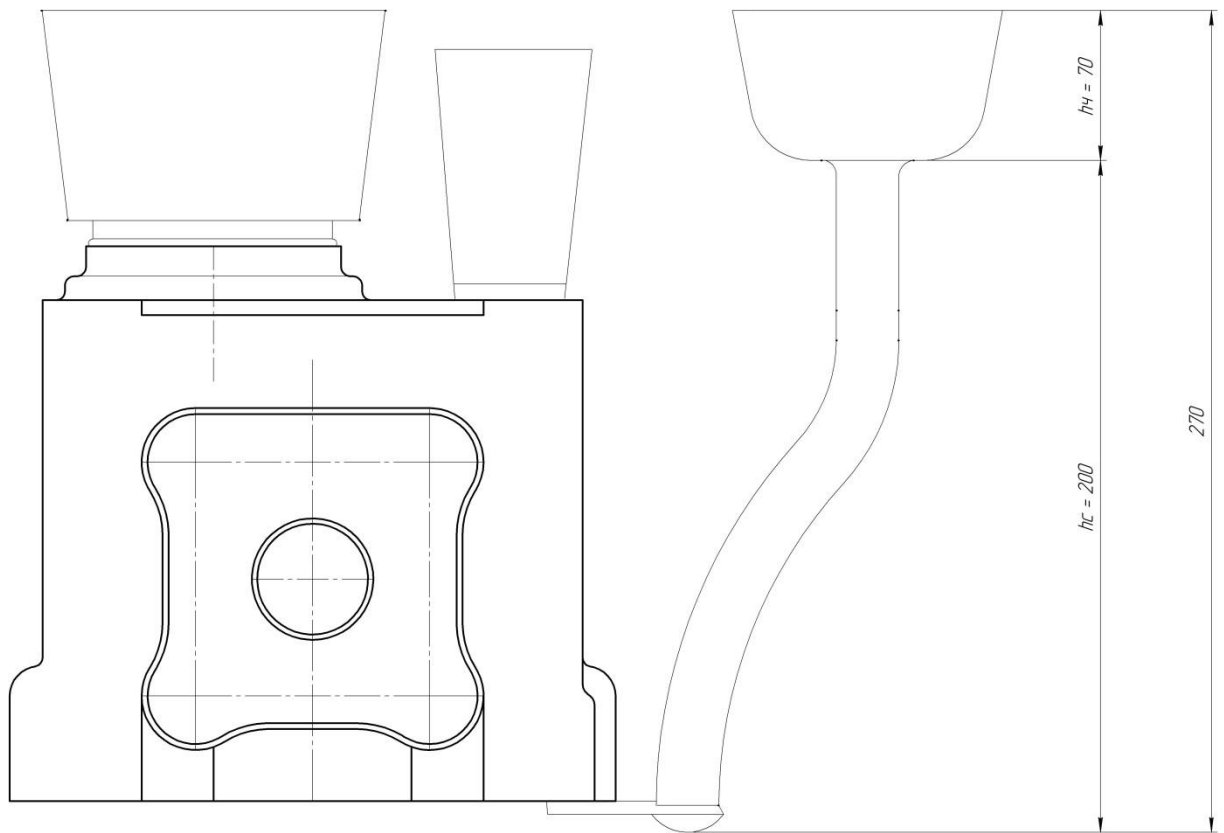


Рисунок 2.1 - Схема до розрахунку ливникової системи.

$$F_{\phi} = \pi \cdot r^2 - 2 \cdot \pi \cdot r_1^2, \quad (2.8)$$

де  $r$  - радіус відливка, см;

$r_1$  - радіус отвору, см

$$F_{\phi} = 3,14 \cdot 9,6^2 - 2 \cdot 3,14 \cdot 7,2^2 = 36,15 \text{ см}$$

Знаходимо середній розрахунковий напір по формулі:

$$H_p = H_o - \frac{h_{\text{відл}}}{2} \quad (2.9)$$

де  $H_o$  - розрахунковий гідростатичний напір, см;

$h_{\text{відл}}$  - висота відливка, см

$$H_p = 31 - \frac{18,5}{2} = 21,75 \text{ см}$$

Визначення розрахункової швидкості руху розплаву по стояку.

По номограмі рис.69 [3] для бокової ливникової системи (тип Л-2А):

$d_{\text{сн}} = 0,016$  м - діаметр стояка в нижньому перерізі;

$H_o = 0,384$  м - початковий гідростатичний напір;

$L_k = 0,140$  м - довжина колектора;

$n = 1$  - кількість живильників.

Для  $F_c: F_k: F_{\text{жс}} = 1 : 2 : 3$ , швидкість руху розплаву  $V_c = 1,3$  м/с.

Максимально допустима швидкість руху розплаву визначається по таблиці 24 [3]  $V_{\text{max}} = 1,86$  м/с.

Відливки по конфігурації відносяться до категорії простих, тому витрату розплаву визначаємо за формулою:

$$Q_{\phi} = R \cdot R_{\phi} \quad (2.10)$$

де  $R = 2 \dots 6$  - коефіцієнт заповнюваності. Приймаємо  $R = 2$ ; [5, 11].

$R_{\phi}$  - периметр перерізу форми в місці підводу розплаву:

$$P_{\phi} = 2 \cdot \pi \cdot r + 2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_1, \quad (2.11)$$

$$P_{\phi} = 2 \cdot 3,14 \cdot 9,6 + 2 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 7,2 = 150,72 \text{ см}$$

$$Q_{\phi} = 2 \cdot 150,72 = 301,44 \text{ см}^3/\text{с}.$$

Визначаємо середню швидкість підйому розплаву у формі, за формулою:

$$V_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{F_{\phi}}, \quad (2.12)$$

де  $Q_{\phi}$  - витрата розплаву,  $\text{см}^3/\text{с}$ ;

$$V_{\phi} = \frac{301,44}{21,75} = 13,86 \text{ см/с}$$

$F_{\phi}$  - площа перерізу відливка,  $\text{см}^2$ .

По табл. 7 [3] для відливка товщиною  $\sigma_{\text{від}} = 21 \text{ мм}$  і висотою  $h_{\text{від}} = 185,5 \text{ мм}$  знаходимо мінімальну швидкість підйому розплаву  $V_{\phi \text{ min}} = 0,45 \text{ см/с}$ .

Оскільки  $V_{\phi} > V_{\phi \text{ min}}$ , то заповнюваність форми буде забезпечено.

Визначаємо площу перерізу стояка за формулою:

$$F_c = F_{\phi} \cdot \frac{Q_{\phi}}{V_c}, \quad (2.13)$$

де  $Q_{\phi}$  - витрата розплаву,  $\text{см}^3/\text{с}$ ;

$V_c$  - розрахункова швидкість руху розплаву в стояку,  $\text{см/с}$ .

$$F_c = \frac{301,44}{143} = 2,1 \text{ см}^2$$

Визначаємо діаметр стояка:

$$D_c = \sqrt{\frac{4Fc}{\pi}}, \quad (2.14)$$

$$D_c = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,1}{3,14}} = 1,65 \text{ см}$$

Оскільки при вільному падінні розплаву в стояку швидкість його руху збільшується, поперечний переріз потоку поступово зменшується в напрямку зверху вниз. У разі відсутності конусності у вертикальному каналі під час заливки в стояку може виникати підсмоктування повітря через роз'єм форми. Найбільш критичним залишається верхній переріз стояка. Для каналу круглого поперечного перерізу:

$$d_{cb} \geq d_{ch} \sqrt[4]{\frac{\mu_{2c} \cdot H}{\mu_{2r} \cdot h}}, \quad (2.15)$$

де  $d_{cb}$ ,  $d_{ch}$  - відповідно, діаметри верхнього і нижнього перерізу стояка, мм;  
 $\mu_c = 0,25 - 0,95$  - коефіцієнт витрати системи в нижньому перерізі стояка [6, 12];

$H$  – гідростатичний напір, см;

$\mu_r = 0,98$  – коефіцієнт витрати системи в ливниковій чаші. [7].

$$H = h_c + h_r, \quad (2.16)$$

де  $h_c$  – висота стояка, см;

$h_r$  – висота рівня металу в чаші, см

$$H = 20 + 7 = 27 \text{ см};$$

$$d_{\text{св}} \geq 14 \sqrt[4]{\frac{0,6 \cdot 31}{0,98 \cdot 5,2}} = 16,2 \text{ мм}$$

Виходячи з раніше прийнятого співвідношення  $F_c : F_k : F_{ж}$ , по табл. 25 [7, 1] для  $F_c = 2,1 \text{ см}^2$  (близьке значення  $F_c = 2,0$ ) знаходимо сумарну площу перерізу колектора рівну  $F_k = 3,08 \text{ см}^2$

Визначаємо фактичну швидкість потоку в колекторі за формулою:

$$F_k = V_c \cdot \frac{F_c}{F_k}, \quad (2.17)$$

де  $V_c$  - розрахункова швидкість руху розплаву в стояку, см/с;

$F_c$  - площа перерізу відливка,  $\text{см}^2$ ;

$F_k$  - площа перерізу колектора,  $\text{см}^2$ .

$$F_k = 130 \cdot \frac{2,1}{4} = 68,25 \text{ см}^2$$

Максимально допустима швидкість визначається за формулою:

$$V_{k \text{ max}} = \frac{42}{R_k}, \quad (2.18)$$

де  $R_k$  - площа поперечного перерізу колектора,  $\text{см}^2$ .

Оскільки  $V_k < V_{k \text{ max}}$ , то умова спокійного протікання розплаву в колекторі буде забезпечена. [20].

$$V_{k \text{ max}} = \frac{42}{0,4} = 105 \text{ см/с}$$

Враховуючи, що  $F_{жс} = 3F_c$ , приймаємо  $F_{жс} = 3 \cdot 2,1 = 6,3 \text{ см}^2$ .

Товщину живильника приймаємо рівною  $\delta_{\text{ж}} = 7$  мм

Знаходимо висоту живильника.

## 2.5 Опис технологічного процесу виготовлення відливка

Технологічний процес виготовлення відливка в кокілі включає такі основні етапи: збирання кокілю, підготовка його до роботи, заливка металу, охолодження відливка, видалення його з форми, а також очистка й контроль якості готового виробу [8, 11].

1. Відливка корпусу НШ100А-3-01 виготовляється в кокілі, який встановлюється на однопозиційну гідравлічну машину моделі 82А505. Детальна технічна характеристика цієї машини подана у розділі 1. Кокіль закріплюється на штоках бічних гідроциліндрів та напрямних. У його конструкцію також інтегровані необхідні стрижні.

2. Після збирання кокілю проводиться його попередній розігрів до температури 250...300 С. Для цього використовується пальник.

3. На розігріту поверхню кокілю наноситься спеціальна фарба GILLOLIN AL223 за допомогою пульверизатора. Це протипригарна та теплоізолююча фарба у вигляді порошку. Основними компонентами фарби є оксидна кераміка та графіт. Перед використанням фарбу розводять водою в пропорції 1:5 і наносять у два етапи. Після першого шару потрібно дати поверхні просохнути протягом 2...3 хвилин. Рекомендована товщина покриття становить 0,2 мм. У процесі роботи, за потреби, можливе повторне нанесення фарби. 4. Після повного висихання кокіль закривається за допомогою гідроприводу машини та виконується встановлення стрижнів у необхідне положення. Тепер можна переходити до заливки металу. 5. Для виготовлення відливка використовується алюмінієвий сплав АК8МЗч. Його хімічний склад і механічні властивості вказані в табл. 1.1 та 1.2 розділу 1.

Температура заливки сплаву становить 720 °С [9]. Розплавлений метал заливається у форму за допомогою ковша місткістю 10 кг.

## **2.6 Опис процесу проектування ливарного оснащення**

Кокіль для виготовлення відливок корпус НШ 100А-3-01 виготовляється литтям з сталі 45 ГОСТ 1050-74. Після виготовлення відливка проводиться механічна обробка формоутворюючих поверхонь кокілю. Кокіль виготовляється без підживлюючої частини, ця частина виготовляється з сталі 45 ГОСТ 1050-74 шляхом механічної обробки заготовки. Частина підживлювача прикріплюється болтами до кокілю.

Кокіль має ребра жорсткості для зменшення металоємкості і ваги. Основа кокілю виготовляється з сталі 45 ГОСТ 1050-74, що і кокіль. [10, 23].

Стержні круглі (див. креслення) виготовляються шляхом механічної обробки круглої заготовки. Поверхні, що контактують з рідким металом піддаються поліруванню. Матеріал стержнів сталь 45 ГОСТ 1050-74.

Плоскі стержні виготовляються шляхом механічної обробки плоских заготовок. Контактуючі поверхні з рідким металом піддаються поліруванню. Матеріал стержнів сталь 45 ГОСТ 1050-74.

Бокові стержні виготовляються також шляхом механічної обробки круглої заготовки. Поверхні, що контактують з рідким металом піддаються поліруванню. Матеріал стержнів сталь 45 ГОСТ 1050-74.

Всі стержні піддаються термообробці - азотування, товщиною  $h = 0,05$  мм (HRC30...35) [19, 17].

## **2.7 Аналіз конструкції ливникової системи**

При виготовленні відливка корпус НШ 100А-3-01 на ПАТ "Гідросила" основними видами браку є: газові раковини, газова пористість в підживлюючій частині, а також неметалеві включення.

Утворення зазначених дефектів залежить від режимів заповнення форми, конструкції ливникової системи, якості шихтових матеріалів та застосування якісних фарб для покриття робочої порожнини, забезпечення вільного видалення газів з ливарної порожнини під час заливки і кристалізації.

Газові раковин (газова пористість) є одним із самих розповсюджених дефектів, а їх усунення - однією із найважливіших задач.

Причини утворення газових раковин: турбулентний рух розплаву по каналах ливникової форми інжекція повітря та газів через роз'єм форми; проникнення із заливочного ковша завжди присутніх в розплаві оксидів та інших сполук.

Отже, неправильно спроектована ливникова система може спричинити турбулентний рух через надмірно великий переріз стояка та каскадне скидання розплаву в разі використання щілинного високого живильника [11, 16]. Газова пористість у зоні підживлювача виникає через недостатнє живлення верхньої частини відливка, що є наслідком невідповідного об'єму наявного підживлювача. Для запобігання цьому режим заповнення форми розплавом необхідно налаштовувати так, щоб забезпечити його плавне надходження до робочої порожнини форми, одночасно уникнувши потрапляння повітря та захвату газів під час плавки й розливу. Таким чином, конструкція ливникової системи разом із правильно підібраними основними розмірами її елементів має гарантувати оптимальний режим заповнення форми, забезпечуючи виконання необхідних умов.

$$V_{\phi} > V_{\phi \min}, \quad (2.20)$$

де  $V_{\phi}$  - середня швидкість підйому розплаву у формі, м/с;

$V_{\phi \min}$  - мінімально допустима швидкість підйому розплаву у формі, м/с.  
Тобто  $9,07 \text{ м/с} > 0,52 \text{ м/с}$ . [12].

Ламінарність потоку забезпечується розмірами ливникової системи і її конструкцією.

## 2.8 Контроль якості відливків

Відливки, які проходили проміжний контроль на різних етапах технологічного процесу, підлягають остаточній перевірці для оцінки їх відповідності стандартам та технологічним вимогам. Проводиться аналіз хімічного складу сплаву, перевірка структури, геометрії та розмірів відливків, а також оцінка механічних властивостей. Виявлення поверхневих і внутрішніх дефектів також є обов'язковим етапом контролю. Хімічний склад сплаву аналізують раз на плавку, використовуючи спектральний метод. Механічні властивості матеріалу перевіряють для виробів однієї партії, проте така перевірка здійснюється не рідше одного разу на тиждень. Аналогічно, аналіз структури та пористості проводять для продукції тієї ж партії з такою ж частотою. Контроль геометричних параметрів і розмірів виконується у бюро технічних вимірів відділу технічного контролю. Така процедура необхідна під час встановлення нового кокіля або переналаштування кокільних машин. Поверхневі дефекти, такі як тріщини, раковини чи пригар, виявляють візуальним методом із використанням еталонів. Невидимі дефекти на поверхні ідентифікують за допомогою магнітної або світлової дефектоскопії.

## ВИСНОВКИ

У межах виконання кваліфікаційної роботи першого (бакалаврського) рівня вищої освіти було вирішено важливе технічне завдання, що полягає у розробці технології виготовлення виливка «Корпус НШ 100А-3» методом лиття в кокіль. У процесі роботи вирішено такі задачі: - підібрано матеріали та обладнання, необхідні для виготовлення виливків, із детальним описом роботи ливарного устаткування; - описано послідовність розробки технології лиття; - виконано розрахунки та проектування ливникової системи; - детально представлено технологічний процес виготовлення виливка; - охарактеризовано процес проектування ливарного оснащення; - визначено параметри контролю якості готових відливків. У першому розділі було обрано алюмінієвий сплав АК8МЗч як матеріал для виготовлення виливка. Подано його хімічний склад, а також механічні та ливарні властивості. Для проведення плавки обрано плавильно-роздавальні печі моделі 121-006 об'ємом 220 кг. Описано процедуру підготовки печі до роботи, застосування вогнетривкого покриття на тигель і плавильний інструмент, а також процес плавлення та рафінування алюмінієвих сплавів. Для виготовлення виливка використовується однопозиційна універсальна кокільна машина моделі 82А403. У роботі детально проаналізовано конструкцію цієї машини, її принцип роботи та технічні характеристики. Також представлено етапи підготовки кокілів до роботи та сам технологічний процес лиття. Для відрізання ливників і підживлювачів застосовується стрікопильний відрізний верстат, а обдирка та зачистка залишків ливників виконуються на обдирно-шліфувальних верстатах. У другому розділі проведено аналіз конструкції деталі й технічних умов на виготовлення виливка. Визначено послідовність розроблення технологічного процесу, створено модельно-ливарні вказівки та технічні умови на виливок. Сконструйовано ливниково-живильну систему і виконано перевірку її ефективності. Описано етапи проектування ливарного оснащення й виготовлення виливка, а також встановлено основні параметри

контролю якості готових виробів. Результати включають розроблені технологічні креслення деталі з модельно-ливарними вказівками та форму у зібраному вигляді.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Проектування ливарних цехів: Навч. посібник / Б. Ф. Туманський. К.: НМК, 1992. 188 с.
2. Аксенов П. Н. Оборудование литейных цехов. М.: Машиностроение, 1997. 510с.
3. Титов Н.Д., Степанов Ю.А. Технология литейного производства: Учебник для машиностроительных техникумов. 2-е изд. Перераб. М.: Машиностроение, 1978. 432 с.
4. Рожнецкий И.А. Практические и лабораторные работы по литейному производству. – Киев:Вища школа, 1973. – 83 с.
5. Литниково-питающие системы. Конструирование и расчет литниковых систем. Учебное пособие / Л.А. Большаков. – Мариуполь: ПГТУ, 2007. – 125 с.
6. В. П. Мовчан, М. М. Бережний. Основи металургії. Дніпропетровськ: Пороги. 2001. 336 с.
7. Хричиков В.Е., Меняйло О.В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. – Видання друге, доопрацьоване. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. – 89с.
8. Фесенко А. М. 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.
9. Ливарні властивості металів і сплавів для прецизійного лиття : підручник для вищих учбових закладів / С. І. Реп'яха, В. Г. Могилатенко, З. А.

Івченко [та ін.]; під ред. С. І. Реп'яха, В. Г. Могилатенка. - 2-ге вид., допов. та доопрац. - Запоріжжя : Мотор Січ, 2016. - 474 с.

10. Теорія ливарних сплавів : навч. посібник / Г. А. Бялік, В. В. Наумик, В. В. Луньов, А. В. Пархоменко. - Запоріжжя : ЗНТУ, 2013. - 156 с. 11. Практикум з теорії ливарних сплавів та процесів: навч. посібник / Г. А. Бялік, Е. І. Цивірко, О. Ф. Кузовов, В. В. Луньов. - Запоріжжя : ЗНТУ, 2013. - 98 с.

12. Формувальні матеріали : підручник для студ. спеціальності 136 «Металургія», освітньої програми «Комп'ютеризовані процеси лиття» / Р. В. Лютий, І. М. Гурія ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 257 с.

13. Теоретичні основи ливарного виробництва : навч. посіб. / Могилатенко В.Г., Пономаренко О.І, Дробязко В.М., [та ін.]. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – 288 с.

14. Ливарна гідравліка: Навчальний посібник / [В. М. Дробязко, А. М. Фесенко, Р. В. Лютий, М. А. Фесенко]; Краматорськ: ДДМА, 2010. – 108 с.

15. Дмитрович А.М. Справочник литейщика. – Минск: Вышэйшая школа, 1989. – 390 с.

16. Пономаренко О.И. Оптимизация технологических решений для цехов литейного производства: Монография / О.И Пономаренко. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2007. – 320 с.

17. Верховлюк А. М., Нарівський А. В., Могилатенко, В. Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. посіб. / за ред. акад. НАН України В.Л. Найдека. – Київ: Вініченко, 2016. – 224 с.

18. Сумцов В.П. Устаткування ливарних цехів. К.: ІСДО, 1993. 552 с.

19. Литниково-питающие системы. Конструирование и расчет литниковых систем. Учебное пособие / Л.А. Большаков. – Мариуполь: ПГТУ, 2007. 125 с.

20. Москальов І.Н. Ливарні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. К.: НМК ВО, 1993. 368 с.

21. Рубцов Н. Н. Специальные виды литья. М.: Машгиз, 1955. 331 с.
22. Белопухов А. К. Технологические режимы литья под давлением. М.: Машиностроение, 1967. 239 с.
23. Галдин Н. М. Литниковые системы для отливок из легких сплавов. М.: Машиностроение, 1978. 195 с.
24. Литье в кокиль / Под ред. А.И. Вейника. М.: Машиностроение, 1980. 415 с.
25. Применение алюминиевых сплавов. Справочное руководство / М. Б. Альтман [и др.]. Москва : Металлургия, 1973. 408 с.
26. Дубинин Н.П. Беликов О.А и др. Кокильное литье. Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1967. 456с.
27. Белов А.Ф., Добаткин В.И., Квасов Ф.И. и др. Алюминиевые сплавы. Металловедение алюминия и его сплавов. Справочник. М.: Металлургия. 1971. С. 352.
28. Белов А.Ф., Добаткин В.И., Квасов Ф.И. и др. Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы. Справочник. М.:Металлургия.1972.С. 552.
29. Фридляндер И.Н. Металловедение алюминия и его сплавов. Справочник. М.: Металлургия. 1983.С.560.
30. Колобнев, И.Ф. Термическая обработка алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1966. 394с.
31. Конончук С.В., Пукалов В.В. Удосконалення технологічного процесу лиття в кокиль алюмінієвих сплавів. Литво – 2018: XIV Міжнар. наук.-практ. конф. Запоріжжя : АА Тандем, 2018. С. 119-120.

# ДОДАТКИ