

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Матеріалознавства та ливарного виробництва»

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Олександр КУЗИК

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Розробка технології виготовлення виливка  
Корпус НШ32УК методом лиття під низьким  
тиском»**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го

курсу групи ПМ-22з-1

ОПП «Інжиніринг технологій,

мехатроніка та 3D-друк»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

\_\_\_\_\_ Тетяна ШИПОВИЧ

Керівник роботи к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Сергій КОНОНЧУК

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 ОПП «Інжиніринг технологій,  
мехатроніка та 3D-друк»,

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Олександр КУЗИК

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

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

Шипович Тетяна Анатоліївна

1. Тема роботи: «Розробка технології виготовлення виливка Корпус НШ32УК методом лиття під низьким тиском»
2. Керівник роботи: Конончук Сергій Васильович, канд. техн. наук, доцент
3. Строк подання роботи до захисту: 15.06.2026 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: розробка технології виготовлення виливка Корпус НШ32УК методом лиття під низьким тиском. Виконати огляд існуючих способів виготовлення виливків із алюмінієвих сплавів. Розробити технологію виготовлення виливка Корпус НШ32УК методом лиття під низьким тиском.
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	Конончук С.В.		
Технологічний	Конончук С.В.		

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури по темі роботи	10.04.2026	
2	Розрахунки по технологічній частині	30.04.2026	
3	Креслення по технологічній частині	20.05.2026	
4	Оформлення пояснювальної записки	10.06.2026	
5	Оформлення презентації роботи	15.06.2026	
6	Здача роботи на кафедрі та перевірка на наявність запозичень	15.06.2026	
9	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2026	

Дата видачі завдання

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

Підпис керівника

\_\_\_\_\_ Конончук С.В.

Завдання прийнято до виконання

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

Підпис здобувача

\_\_\_\_\_ Шипович Т.А.

## Анотація

ШИПОВИЧ Тетяна Анатоліївна. Розробка технології виготовлення виливка Корпус НШ32УК методом лиття під низьким тиском. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2026. 39 с.

Перелік графічного матеріалу: Деталь з модельно-ливарними вказівками, Форма в зборі.

В якості матеріалу для виготовлення виливків обрано алюмінієвий сплав АК9МЗ, наведено його хімічний склад, механічні та ливарні властивості. Для плавки сплаву вибрано плавильні печі К240/126 фірми Nabertherm ємністю 600 кг. Описано підготовку печі до роботи, а також процеси плавки та рафінування алюмінієвих сплавів. Для виготовлення виливків обрано машину лиття під низьким тиском ВРЗ фірми LPM-GROUP, розглянуто її будову, принцип дії та технічні характеристики. Описано підготовку ливарної форми та технологічний процес лиття. Відрізання ливників і підживлювачів виконується на стрічкопильному верстаті, а обдирка та зачистка виливків — на обдирно-шліфувальних верстатах.

Виконано аналіз конструкції деталі та технічних вимог до виливка, розроблено модельно-ливарні вказівки і технічні умови. Розраховано параметри підживлювача, спроектовано ливниково-живильну систему та перевірено її ефективність. Описано процес проектування ливарного оснащення і технологію виготовлення виливка, обрано методи та параметри контролю якості готових виливків.

Ключові слова: плавильна піч, машина лиття під низьким тиском, виливок, прес-залишок, металопровід, ливникова система.

## Abstract

SHIPOVYCH Tetyana. Development of the technology for manufacturing the NSh32UK housing by low-pressure casting. Qualification work for the first (bachelor's) level of higher education: CUNTU, 2026. 39 p.

List of graphic material: Part with model-casting instructions, Assembled mold.

Aluminum alloy AK9M3 was selected as the material for manufacturing castings, its chemical composition, mechanical and casting properties are given. Melting furnaces K240/126 of the Nabertherm company with a capacity of 600 kg were selected for melting the alloy. Preparation of the furnace for operation, as well as the processes of melting and refining of aluminum alloys are described. A low-pressure casting machine BP3 of the LPM-GROUP company was selected for manufacturing castings, its structure, principle of operation and technical characteristics are considered. The preparation of the casting mold and the technological process of casting are described. Cutting of sprues and feeders is performed on a band saw, and stripping and cleaning of castings are performed on stripping and grinding machines.

The analysis of the design of the part and technical requirements for the casting is performed, model-casting instructions and technical conditions are developed. The feeder parameters are calculated, the sprue-feeding system is designed and its efficiency is checked. The process of designing the foundry equipment and the technology of manufacturing the casting is described, methods and parameters for quality control of finished castings are selected.

Keywords: melting furnace, low-pressure casting machine, casting, press residue, metal pipeline, sprue system.

## ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ	9
1.1. Особливості лиття під низьким тиском алюмінієвих сплавів	9
1.2. Хімічний склад та механічні властивості сплаву	11
1.3. Плавильний агрегат для плавки сплаву	12
1.4. Машина для лиття під низьким тиском алюмінієвих сплавів	17
1.5. Вогнетривкі покриття для ливарних форм та плавильного інструменту	18
1.5. Обладнання для фінішної очистки виливків	20
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА	22
2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних вимог на вилівок	22
2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення виливка	23
2.2.1. Вибір припусків на механічну обробку	25
2.2.2. Припуски на усадку	26
2.3. Розрахунок і конструювання підживлювача	26
2.4. Розрахунок і конструювання ливникової системи	30
2.5. Опис технологічного процесу виготовлення виливка	33
2.6. Опис процесу проектування ливарної форми	33
ВИСНОВКИ	36
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	37
ДОДАТКИ	39

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Лиття під низьким тиском є одним із найбільш перспективних способів виготовлення виливків з алюмінієвих сплавів. Технологія забезпечує високу якість металу, низьку пористість, добру точність розмірів і високий коефіцієнт використання металу. Завдяки цим перевагам вона широко застосовується в автомобілебудуванні, авіаційній техніці, машинобудуванні та електротехнічній промисловості.

Основним напрямом розвитку технології є підвищення рівня автоматизації виробництва. Сучасні ливарні комплекси оснащуються системами автоматичного контролю температури металу і форми, тиску та швидкості заповнення форми, що забезпечує стабільність процесу та зменшує кількість дефектів.

Важливе значення має використання комп'ютерного моделювання процесів лиття. Воно дозволяє прогнозувати заповнення форми, утворення пористості та усадкових дефектів ще на стадії проєктування, скорочуючи витрати на виготовлення оснащення та підвищуючи якість виливків.

Перспективним є застосування нових алюмінієвих сплавів із підвищеними механічними властивостями, а також удосконалення процесів модифікування та термічної обробки. Це дає змогу отримувати виливки з покращеною структурою та високою експлуатаційною надійністю.

Особливого значення технологія набуває у виробництві деталей для електромобілів, де зростає потреба в легких і міцних алюмінієвих компонентах складної форми. Одночасно вдосконалюються конструкції ливарних машин, впроваджуються енергоощадні та екологічно безпечні технології.

Таким чином, подальший розвиток лиття під низьким тиском пов'язаний із автоматизацією виробництва, цифровим проєктуванням, використанням сучасних сплавів та підвищенням енергоефективності обладнання, що забезпечує розширення сфери застосування цієї технології в сучасному машинобудуванні.

Тому вирішення задач розробки технологічного процесу лиття під низьким тиском, розрахунку і проектування ливниково-живильної системи та задач проектування ливарного оснащення є актуальними.

**Мета і задачі дослідження.** Метою даної роботи є розробка технології лиття під низьким тиском вилівка «Корпус НШ32УК».

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- вибір матеріалів та обладнання для виготовлення виливків та опис роботи ливарного обладнання;
- розрахунок і конструювання ливникової системи;
- опис технологічного процесу виготовлення виливка;
- опис процесу проектування ливарного оснащення;
- вибір параметрів контролю якості виливків;

*Об'єкт дослідження* – технологічний процес лиття під низьким тиском алюмінієвих сплавів.

*Предмет дослідження* – модельно ливарне оснащення для виготовлення виливка «Корпус НШ32УК» методом лиття під низьким тиском.

*Практичне значення* – розроблено технологію лиття під низьким тиском виливка «Корпус НШ32УК».

*Особистий внесок* – Вибрано матеріали, обладнання для виготовлення виливка та описано його роботу, розраховано ливниково-живильну систему виливка, описано процес проектування ливарного оснащення, розроблено креслення модельно ливарних вказівок та форми в зборі.

# **1. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ**

## **1.1. Особливості лиття під низьким тиском алюмінієвих сплавів**

Лиття під низьким тиском є сучасним високоефективним способом виготовлення фасонних виливків з алюмінієвих сплавів, який займає проміжне положення між литтям у кокіль та литтям під високим тиском. Даний спосіб широко застосовується у виробництві відповідальних деталей автомобільної, авіаційної, електротехнічної та машинобудівної галузей завдяки можливості отримання щільних виливків з високими механічними властивостями та мінімальною кількістю дефектів.

Суть процесу полягає в тому, що розплавлений метал знаходиться в герметично закритій плавильно-роздавальній печі, яка з'єднана з ливарною формою металопроводом. Після герметизації печі в її робочому просторі створюється надлишковий тиск повітря або інертного газу, зазвичай у межах 0,02–0,08 МПа. Під дією цього тиску рідкий метал піднімається по металопроводу і плавно заповнює порожнину форми знизу вгору.

На відміну від лиття в кокіль під дією сили тяжіння, при якому метал вільно падає в ливникову систему, під час лиття під низьким тиском заповнення форми відбувається спокійно та рівномірно. Це значно знижує турбулентність потоку, перешкоджає захопленню повітря та утворенню оксидних плівок. У результаті зменшується кількість газових і неметалевих включень, а якість металу у виливку істотно підвищується.

Однією з найважливіших особливостей процесу є можливість керування швидкістю заповнення форми. Тиск подається поступово за заданою програмою, що дозволяє забезпечити оптимальний режим руху металу в порожнині форми. Це особливо важливо при виготовленні тонкостінних або складнопрофільних виливків, де існує небезпека передчасного затвердіння металу та утворення недоливів.

Після завершення заповнення форми надлишковий тиск зберігається протягом усього періоду кристалізації. Завдяки цьому забезпечується безперервне підживлення вилівка рідким металом із печі, що сприяє компенсації усадки та значно зменшує ймовірність утворення усадкової пористості та раковин. Внаслідок цього отримують щільні вилівки з однорідною структурою та підвищеними механічними властивостями.

Важливою перевагою лиття під низьким тиском є високий коефіцієнт використання металу. Оскільки роль ливникової системи виконує металопровід, який після завершення циклу спорожнюється під дією сили тяжіння, втрати металу значно менші, ніж при литті в кокіль або піщані форми. Це дозволяє знизити витрати сплаву та підвищити економічність виробництва.

Технологія забезпечує отримання вилівоків з високою точністю розмірів і якісною поверхнею. Завдяки використанню багаторазових металевих форм досягається висока стабільність геометричних параметрів виробів. У більшості випадків це дозволяє зменшити припуски на механічну обробку та скоротити трудомісткість подальших технологічних операцій.

Для лиття під низьким тиском найчастіше використовують алюмінієво-кремнієві сплави типу АК7, АК9, АК12 та їх модифікації. Ці сплави характеризуються високою рідкотекучістю, малою схильністю до утворення гарячих тріщин і добрими ливарними властивостями. Перед заливанням метал обов'язково піддають рафінуванню, дегазації та модифікуванню, що сприяє зменшенню вмісту водню, неметалевих включень та покращує структуру сплаву.

До особливостей технології належать також підвищені вимоги до контролю температурного режиму. Температура металу, металопроводу та ливарної форми повинна підтримуватися в заданих межах, оскільки її відхилення можуть призвести до порушення умов заповнення форми, виникнення дефектів або погіршення механічних властивостей вилівка.

Разом із численними перевагами лиття під низьким тиском має певні обмеження. Процес потребує використання спеціалізованого обладнання, герметичних плавно-роздавальних печей і систем автоматичного керування тиском. Вартість такого оснащення є вищою порівняно з кокілним литтям. Крім того, продуктивність процесу дещо нижча, ніж при литті під високим тиском. Однак ці недоліки компенсуються високою якістю отримуваних виливків та можливістю виготовлення відповідальних деталей із покращеними експлуатаційними характеристиками.

Таким чином, лиття під низьким тиском є одним із найефективніших способів виготовлення виливків з алюмінієвих сплавів. Поєднання керованого заповнення форми, підживлення вилівка під час кристалізації, високої якості металу та можливості автоматизації процесу забезпечує широке застосування цієї технології у сучасному ливарному виробництві.

## 1.2. Хімічний склад та механічні властивості сплаву

Для виготовлення виливків типу «Корпус НШ32УК» застосовують алюмінієвий ливарний сплав АК9М3 відповідно до вимог ДСТУ 2839-94. Вибір цього сплаву обумовлений його здатністю забезпечувати необхідний комплекс механічних властивостей, зокрема міцність, твердість і відносне видовження. Для підвищення експлуатаційних характеристик виливків застосовують термічну обробку за режимами Т5 або Т6, що сприяє покращенню механічних властивостей матеріалу та підвищенню якості готових деталей. Хімічний склад сплаву наведено в таблиці 1.1, а його механічні властивості — у таблиці 1.2.

Таблиця 1.1

Хімічний склад сплаву

Сплав	Si	Mg	Cu	Mn	Ti	Zn	Fe	Al
АК9М3	8,0–11,0	0,1– 0,5	2,0– 3,5	0,1– 0,5	До 0,15	До 1,2	< 1,0	Основа

## Механічні властивості сплавів

Сплав	Вид ТО	Границя міцності при розтягу, кгс/мм <sup>2</sup> (МПа)	Відносне видовження, %	Твердість, НВ	Лінійна усадка, %	Рідинотекучість (мм) по спіральній пробі
АК9М3	Т5, Т6	21 (206)	1,3	70–110	1,25	410

Алюмінієві сплави належать до групи кольорових металевих сплавів і завдяки поєднанню високих експлуатаційних та технологічних властивостей широко використовуються для виробництва виливків у машинобудуванні. Вони являють собою сплави на основі алюмінію, до складу яких вводять один або декілька легувальних елементів з метою покращення їхніх характеристик. Легування дозволяє підвищити механічні властивості матеріалу, зокрема міцність, твердість і відносне видовження, а також поліпшити спеціальні властивості, такі як рідинотекучість, пластичність, оброблюваність різанням та інші технологічні показники.

### 1.3. Плавильний агрегат для плавки сплаву

Для плавлення алюмінієвого сплаву АК9М3 використовується тигельна електропіч опору К240/126 виробництва фірми Nabertherm (Німеччина) (рис. 1.1). Даний тип плавильного обладнання широко застосовується в ливарному виробництві завдяки високій якості одержуваного розплаву, надійності в експлуатації та економічному споживанню електроенергії. Перекидні тигельні печі з електричним нагрівом забезпечують рівномірне нагрівання металу по всьому об'єму тигля, що сприяє отриманню однорідного за хімічним складом і температурою розплаву. Такі печі ефективно використовуються як для попереднього розплавлення шихтових матеріалів, так і для безпосереднього розливання металу у ливарні форми великого об'єму.



Рис. 1.1. Електрична тигельна піч опору K240/126

Конструкція печі K240/126 розроблена з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності, безпеки та зручності експлуатації. Нагрівання металу здійснюється за допомогою електричних нагрівальних елементів з вільним випромінюванням, які встановлені на спеціальних опорних трубах. Таке конструктивне рішення забезпечує тривалий термін служби нагрівачів, а також спрощує їх обслуговування та заміну у разі необхідності. Для зменшення теплових втрат корпус печі оснащений багатошаровою теплоізоляцією, що дозволяє підтримувати високу енергоефективність агрегату та забезпечує низьку температуру зовнішніх поверхонь, підвищуючи безпеку роботи обслуговуючого персоналу.

Важливою особливістю печі є наявність електрогідравлічного механізму перекидання тигля, який забезпечує плавне та безпечне керування процесом розливання рідкого металу. Оптимально вибрана точка повороту тигля дозволяє здійснювати рівномірний і точний розлив розплаву, зменшуючи втрати металу та ймовірність утворення дефектів у виливках. Для підвищення рівня безпеки конструкцією передбачена аварійна летка, через яку може бути виконаний

контрольований злив розплаву у випадку пошкодження або руйнування тигля. Технічні характеристики печі наведені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики тигельної печі опору K240/126

Параметр, од. вим.	Значення
Продуктивність, кг/год	200
Максимальна температура нагрівальних елементів, °С	1200
Максимальна температура металу, °С	1050
Ємність печі, кг	600
Споживання електроенергії, кВт год/кг	0,4
Габаритні розміри машини, мм:	
довжина	2260
ширина	1760
висота	1860
Маса печі, кг	2800

Електричний спосіб нагрівання виключає утворення продуктів згоряння палива та шкідливих газових викидів, що покращує умови праці в ливарному цеху та сприяє зменшенню негативного впливу виробництва на навколишнє середовище. Піч обладнана сучасною системою автоматичного керування та захисту. У разі виходу з ладу термопари система безпеки автоматично переводить піч у режим роботи зі зниженою потужністю, що запобігає передчасному охолодженню та затвердінню розплаву. Крім того, для захисту футеровки та нагрівальних елементів від надмірного нагрівання в робочій камері встановлено обмежувач максимально допустимої температури.

Тигельна піч K240/126 має місткість 600 кг рідкого металу, що дозволяє забезпечувати необхідний обсяг розплаву для серійного виробництва виливків. Залежно від маси завантаження, складу шихти та початкової температури матеріалів тривалість плавки становить від 120 до 180 хвилин. Поєднання високої продуктивності, якісного нагрівання металу, енергоефективності та

надійності робить дану піч ефективним обладнанням для виготовлення виливків із алюмінієвих сплавів.

Для проведення плавки алюмінієвого сплаву АК9МЗ тигель плавильної печі попередньо піддають поступовому нагріванню до робочої температури близько 900 °С. Такий режим підготовки забезпечує стабільні умови плавлення, зменшує термічні навантаження на футеровку та сприяє отриманню якісного розплаву. Після досягнення необхідної температури в тигель завантажують шихтові матеріали відповідно до розрахованого складу шихти. Спочатку використовують відходи власного виробництва, до яких належать ливникові системи, прибутки та браковані виливки, хімічний склад яких відповідає сплаву АК9МЗ. Після цього завантажують чушковий сплав АК9МЗ. У разі необхідності коригування хімічного складу розплаву додатково вводять відповідні лігатури, зокрема мідні та марганцеві.

Для покращення структури металу та підвищення експлуатаційних властивостей виливків проводять модифікування розплаву препаратом EUTEKTAL T200. Введення модифікатора сприяє подрібненню зеренної структури сплаву, підвищує однорідність металу та позитивно впливає на механічні характеристики готових виробів, зокрема міцність, пластичність і стійкість до утворення дефектів.

Після повного розплавлення шихти та доведення металу до необхідної температури здійснюють його рафінування. Метою цієї операції є очищення розплаву від неметалевих включень, оксидних плівок і розчинених газів, які можуть негативно впливати на якість виливків. Для рафінування використовують флюс АЛ224, який вводять у розплав у спеціально підготовленому паперовому пакеті. Перед початком обробки весь плавильний інструмент, зокрема занурний дзвоник і шлакозчищалку, покривають вогнетривкою фарбою на основі оксиду цинку та ретельно висушують. Також попередньо готують виливниці для збору шлаку.

Рафінування виконують за температури металу 720–730 °С. Пакет із флюсом розміщують у занурному дзвонику, після чого його опускають у

центральну частину металевої ванни на глибину 50–100 мм від дна тигля. Під час обробки дзвоник переміщують по спіральній траєкторії від центра до периферії та у зворотному напрямку, одночасно здійснюючи вертикальні переміщення від нижніх шарів розплаву до верхніх. Така обробка триває протягом 5–8 хвилин і забезпечує рівномірний розподіл флюсу в об'ємі металу та ефективне видалення небажаних домішок.

Після завершення процесу дзвоник витягують із розплаву та очищують від залишків продуктів рафінування. Ознакою закінчення процесу вважають повне припинення бурління металу. Далі розплав витримують протягом 10–15 хвилин для завершення процесів осадження та спливання неметалевих включень. Після витримки поверхню металу ретельно очищають від шлаку, який збирають у спеціально підготовлені виливниці. Лише після цього розплав направляють на розливання. У випадках, коли після рафінування метал перебуває в печі понад 60 хвилин, процедуру очищення рекомендується повторити для забезпечення необхідної якості сплаву. Після завершення роботи шлак із виливниць видаляють та складують у спеціально відведену тару.

Транспортування рідкого металу від плавильної печі до машин лиття під низьким тиском здійснюють за допомогою барабанних ковшів місткістю 600 кг. Для запобігання передчасному охолодженню розплаву та видаленню вологи з футеровки перед використанням ківш прожарюють газовим пальником до температури близько 800 °С. Це дозволяє уникнути контакту рідкого металу з вологою та підвищує безпеку виконання технологічних операцій.

У процесі плавки неминуче виникають втрати металу, пов'язані з окисненням поверхні розплаву, утворенням шлаку та оксидних плівок, вигорянням окремих компонентів сплаву, а також втратами під час переливання і транспортування металу. Частина металу також втрачається у вигляді зливів і сплесків під час розливання. Значення технологічних втрат сплаву АК9МЗ при плавці в печі опору К240/126 наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Втрати при плавці алюмінієвих сплавів

Марка сплаву	Види втрат, %			
	Шлак	Оксидні плівки	Угар	Загальні втрати
АК9М3	4,500		1,610	6,110

#### 1.4. Машина для лиття під низьким тиском алюмінієвих сплавів

Виготовлення виливків Корпус НШ32УК планується здійснювати на машинах лиття під низьким тиском з гідравлічним приводом моделі ВР3 (рис. 1.2) фірми LPM-GROUP (Італія). Технічна характеристика машини наведена в таблиці 1.5.



Рис. 1.2. Машина лиття під низьким тиском мод. ВР3 фірми LPM-GROUP

Таблиця 1.5 – Технічна характеристика машини лиття під низьким тиском моделі ВРЗ ф. LPM-GROUP

Параметр, од. вим.	Значення	
Продуктивність, відл./год	25	
Зусилля запирання форми, т	25	
Розміри затискних плит для форми, мм	800x800	
Хід рухомої плити, мм	1030	
Розміри кокіля, мм	200x1000x800	
Габаритні розміри машини, мм:	довжина	3410
	ширина	2350
	висота	4100
Маса машини, кг	9300	

### 1.5. Вогнетривкі покриття для ливарних форм та плавильного інструменту

Для захисту плавильного інструменту та робочих поверхонь ливарних форм від безпосереднього контакту з рідким металом використовують спеціальні вогнетривкі покриття на основі оксиду цинку, графіту або графіто-керамічних матеріалів. Такі покриття створюють на поверхні захисний шар, який запобігає прилипанню металу, зменшує інтенсивність окиснення, підвищує довговічність технологічного оснащення та сприяє покращенню якості поверхні виливків. Склади застосовуваних покриттів наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Склад вогнетривких покриттів для форм та плавильного інструмента

Складова покриття	Номер покриття			
	П1	П2	П3	П4
Окис цинка	50 г	250 г	450 г	–
Вода технічна	1 л	1 л	1 л	1 л
Рідке скло	–	100 г	–	–
Gillolin A1223	–	–	–	250 г

Приготування покриттів П1, П2 та П3 на основі оксиду цинку здійснюють із використанням підігрітої до температури 60–80 °С води. Для отримання однорідної суспензії оксид цинку попередньо просіюють через сито з розміром чарунок 0,5 мм, що дозволяє видалити грудки та сторонні включення. Після цього підготовлений порошок поступово вводять у воду відповідно до встановленої рецептури та ретельно перемішують до утворення рівномірного складу. Для приготування покриття П2 додатково вводять рідке скло у передбаченій пропорції, після чого суміш повторно перемішують до повного розподілу компонентів по всьому об'єму.

Покриття П4, виготовлене на основі препарату Gillolin A1223, готують іншим способом. У підготовлену ємність заливають одну об'ємну частину препарату, після чого додають від трьох до п'яти об'ємних частин води з температурою навколишнього середовища близько 20 °С. Отриману суміш ретельно перемішують до утворення однорідної маси, придатної для подальшого нанесення на робочі поверхні.

Перед нанесенням вогнетривкого покриття на плавильний інструмент необхідно виконати його ретельну підготовку. Поверхні ковшів, шлакозчищалок, занурних дзвоників та іншого оснащення очищають від залишків старого покриття, настилів, шлаку, оксидів та інших забруднень. Після очищення на поверхню наносять тонкий і рівномірний шар вогнетривкого складу. Залежно від умов виробництва покриття може наноситися за допомогою пульверизатора, пензля або шляхом занурення інструменту в ємність із підготовленою суспензією. Для забезпечення надійного закріплення захисного шару після нанесення інструмент нагрівають до температури 150–200 °С. У процесі експлуатації покриття поступово руйнується під дією високих температур та механічного зношування, тому його періодично відновлюють у міру необхідності.

Нанесення вогнетривкого покриття на ливарну форму також потребує попередньої підготовки її робочих поверхонь. Формоутворювальну порожнину очищають від залишків попереднього покриття, шлаку, оксидів, нагару та інших

забруднень, після чого половини форми продувають стисненим повітрям для видалення пилу та дрібних частинок. Далі форму прогрівають інжекційним пальником до температури 150–200 °С, що сприяє кращому зчепленню покриття з металевою поверхнею. На нагріті формоутворювальні поверхні за допомогою пульверизатора наносять рівномірний шар вогнетривкого матеріалу. Після нанесення покриття висушують інжекційним пальником протягом 5–7 хвилин до повного видалення вологи та утворення міцного захисного шару. У процесі експлуатації стан покриття контролюють, а його відновлення виконують у міру зношування або локального руйнування, що забезпечує стабільну якість виливків та довговічність ливарної форми.

### **1.6. Обладнання для фінішної очистки виливків**

Для видалення прес-залишків після процесу лиття застосовується стрічкопилний верстат JET HVBS-812R. Дане обладнання призначене для високопродуктивного різання різноманітних металевих матеріалів, зокрема алюмінію та його сплавів, а також інших кольорових і чорних металів. Завдяки раціональній конструкції верстат поєднує високу продуктивність, надійність та жорсткість із компактними габаритами, що забезпечує зручність його розміщення та експлуатації в умовах ливарного виробництва.

Особливістю верстата JET HVBS-812R є можливість виконання різання не лише під прямим кутом, а й під заданими кутами нахилу. Це досягається шляхом використання поворотних лещат або завдяки конструкції, яка дозволяє змінювати положення пильного вузла. Така функціональність значно розширює технологічні можливості обладнання та дозволяє виконувати широкий спектр операцій з обробки металевих заготовок. Для підвищення якості різання та збільшення ресурсу стрічкової пилки верстат може оснащуватися системою охолодження, яка особливо ефективна під час обробки великогабаритних деталей або при тривалій безперервній роботі.

Після видалення ливниково-живильної системи та прес-залишків виливки піддають фінішній механічній обробці. Для цієї операції використовують обдирно-шліфувальний верстат моделі ЗМ634. Дане обладнання призначене для очищення поверхні виливків від залишків облоя, ливників, прибутків, заусенців та інших нерівностей, що утворюються в процесі лиття. Використання обдирно-шліфувального верстата дозволяє надати виливкам необхідний зовнішній вигляд та підготувати їх до подальших технологічних операцій або контролю якості.

Крім основного призначення, верстат ЗМ634 може застосовуватися для виконання різноманітних слюсарних робіт. На ньому здійснюють видалення задирок, обробку фасок, зачистку місць відрізання ливників і прибутків, а також заточування металорізального, деревообробного та іншого інструменту. Обладнання також використовується для обдирки, шліфування, профілювання та доведення поверхонь металевих деталей. Універсальність, простота експлуатації та висока ефективність роблять верстат ЗМ634 одним із найбільш поширених видів обладнання для завершальної обробки виливків у ливарному виробництві.

## 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА

### 2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних вимог на виливок

Деталь Корпус НШ32УК виготовляється литтям під низьким тиском з алюмінієвого сплаву марки АК9М2. Хімічний склад та механічні властивості сплаву подані в розділі 1 таблиці 1.1 і 1.2.

Габаритні розміри деталі становлять  $116 \times 101,5 \times 149$  мм (див. креслення деталі).

Корпус насоса є основною несучою деталлю вузла та призначений для розміщення валів із зубчастими шестернями, які забезпечують перекачування масла в гідравлічній системі. Конструкція корпусу передбачає наявність двох основних отворів діаметром 51 мм, призначених для встановлення та фіксації валів шестерень. З боку роз'єму деталі виконано два платики розміром 50 мм, формування яких під час лиття забезпечується застосуванням плоских вставок і металевих стержнів. Внутрішня порожнина виливка має складну просторову конфігурацію, що обумовлено функціональним призначенням корпусу та необхідністю забезпечення руху робочої рідини по внутрішніх каналах.

Товщина стінок деталі змінюється в межах від 12 до 24 мм. Таке співвідношення товщин дозволяє забезпечити необхідну міцність конструкції при раціональній витраті металу. Крім основних отворів, у виливку передбачено формування двох отворів діаметром 19,5 мм, які отримують безпосередньо під час лиття за допомогою металевих стержнів.

До якості виливка висуваються підвищені вимоги. На поверхнях, які не підлягають подальшій механічній обробці, допускається наявність окремих ливарних дефектів, таких як раковини, шлакові включення, забруднення та інші локальні недосконалості. При цьому їх кількість не повинна перевищувати п'яти на одну деталь, а максимальний розмір кожного дефекту має бути не більше 2 мм за діаметром і 1,5 мм за глибиною. Особливу увагу приділяють якості базових поверхонь А і Б, які повинні бути чистими, без ужимин, одутостей та інших

дефектів, здатних вплинути на точність подальшої механічної обробки та складання виробу.

Структурна якість металу також регламентується нормативними документами. Загальна пористість виливка не повинна перевищувати еталон № 2 шкали пористості відповідно до ДСТУ 3015-95, а зональна пористість має відповідати не більше ніж 3 балу шкали пористості згідно з ДСТУ 2839-94. Дотримання цих вимог забезпечує необхідний рівень герметичності, міцності та надійності корпусу в процесі експлуатації.

Для зменшення нерівномірності охолодження металу, усунення термічних вузлів і зниження концентрації внутрішніх ливарних напружень технологічним процесом передбачено виготовлення деталі методом лиття під низьким тиском. Застосування цього способу лиття дозволяє отримати більш рівномірну структуру металу та підвищити якість виливка. В одній формі одночасно Виливають лише один виливок, що спрощує конструкцію ливарного оснащення, забезпечує стабільність технологічного процесу та створює сприятливі умови для подальшої механічної обробки виробу.

## **2.2. Розробка технологічного процесу виготовлення виливка**

Розроблення технологічного процесу виготовлення виливка передбачає вибір його раціонального положення у формі, визначення місця розташування підживлювача, способу встановлення стержнів, а також вибір місця підведення рідкого металу. Від правильності прийнятих технологічних рішень залежить якість виливка, стабільність процесу лиття, економічність виробництва та довговічність ливарного оснащення.

Положення виливка в формі визначається насамперед конструктивними особливостями деталі. Найбільш доцільним вважається таке розташування, яке забезпечує отримання точних геометричних розмірів, мінімізує ймовірність виникнення усадкових і газових дефектів та створює сприятливі умови для спрямованого затвердіння металу. Оскільки виливок має відносно просту

зовнішню конфігурацію та складну внутрішню порожнину, при проектуванні технології особливу увагу приділено забезпеченню рівномірного охолодження металу та зручності виготовлення форми.

Для даного виливка прийнято положення на торцеву глуху поверхню, при якому його поздовжня вісь розташована паралельно вертикальній площині роз'єму форми. Таке розміщення дозволяє забезпечити сприятливі умови для формування виливка, спрощує конструкцію ливарної форми та зменшує кількість роз'ємів. Підживлювач (прес-залишок) розташовують у нижній частині циліндричної поверхні виливка, що створює умови для безперервного живлення металу під час кристалізації та сприяє спрямованому затвердінню Виливка. Встановлення металевих стержнів здійснюється з верхнього боку форми, тоді як формувальні вставки закріплюються безпосередньо в бокових частинах форми.

Обране положення виливка та конструкція форми забезпечують низку технологічних переваг. Насамперед значно полегшується видалення готового виливка, що спрощує процес експлуатації ливарного оснащення та знижує витрати на його виготовлення і обслуговування. Конфігурація деталі не містить значної кількості виступаючих елементів, завдяки чому вдається звести кількість стержнів до мінімуму та спростити виготовлення внутрішніх поверхонь кокілю.

Для забезпечення можливості вилучення виливка з форми та подальшої механічної обробки конструкцією передбачено ливарні ухили величиною 3 мм як на внутрішніх, так і на зовнішніх поверхнях. Форма має просту вертикальну площину роз'єму, що підвищує її жорсткість, зменшує зношування робочих поверхонь та сприяє збільшенню терміну служби оснащення.

Конструкція виливка забезпечує достатньо рівномірне охолодження металу під час кристалізації, що дозволяє знизити внутрішні напруження та ймовірність утворення усадкових дефектів. Відсутність гострих внутрішніх кутів, вузьких глибоких отворів малого діаметра та інших складних елементів суттєво спрощує виготовлення форми і підвищує надійність її роботи. Крім того, базові поверхні деталі розміщені в одній половині, що забезпечує високу точність їх формування та створює сприятливі умови для подальшої механічної обробки.

Аналіз конструкції деталі показує, що вона характеризується складною внутрішньою конфігурацією та нерівномірною товщиною стінок. У зв'язку з цим конструкція вилівка була адаптована до вимог ливарного виробництва і певною мірою відрізняється від конструкції готової деталі. Такі зміни дозволяють спростити виготовлення складних стержнів, покращити умови формування внутрішніх порожнин і підвищити технологічність процесу. Крім того, окремі елементи вилівка стають більш зручними для подальшої механічної обробки, що позитивно впливає на якість готового виробу та знижує трудомісткість його виготовлення.

**2.2.1 Вибір припусків на механічну обробку.** Одним із важливих етапів проектування технологічного процесу виготовлення вилівка є визначення припусків на механічну обробку. Величина припусків залежить від багатьох факторів, серед яких основними є марка сплаву, спосіб лиття, габаритні розміри та маса вилівка, необхідна точність його виготовлення, складність конфігурації поверхонь, а також положення деталі у кокілі під час формування. Правильно вибрані припуски повинні забезпечувати повне видалення ливарної кірки, поверхневих дефектів і відхилень форми, водночас не призводячи до надмірних витрат металу та збільшення обсягу механічної обробки.

Відповідно до рекомендацій нормативної та довідкової літератури для даного вилівка прийнято припуски на механічну обробку, які становлять 2 мм для нижніх і зовнішніх бокових поверхонь, а також для внутрішніх бокових поверхонь. Для верхніх поверхонь, які під час лиття перебувають у менш сприятливих умовах формування та можуть мати більші відхилення розмірів, припуск збільшено до 3 мм.

Для забезпечення необхідної точності формування внутрішніх порожнин і отворів встановлюються відповідні допуски на розміри металевих стержнів. Для стержнів із розмірами до 100 мм включно допускається відхилення  $\pm 0,5$  мм, а для стержнів розміром від 101 до 250 мм —  $\pm 0,7$  мм. Такі значення забезпечують отримання внутрішніх поверхонь необхідної точності та мінімізують обсяг подальшої механічної обробки.

З метою полегшення вилучення стержнів після затвердіння металу та запобігання пошкодженню робочих поверхонь форми передбачено виконання стержневих ухилів. Для даного вилівка величину ухилу прийнято рівною  $3^\circ$ , що забезпечує надійне видалення стержнів і сприяє стабільності технологічного процесу.

**2.2.2 Припуски на усадку.** Під час охолодження та кристалізації металу відбувається зменшення його об'єму і лінійних розмірів, яке називається усадкою. Для компенсації цього явища під час проектування кокілю всі його розміри збільшують на величину, що відповідає усадці матеріалу вилівка. Таке збільшення називають припуском на усадку.

Величина усадки залежить від хімічного складу сплаву, температури заливання, умов охолодження та конструктивних особливостей вилівка. Припуск на усадку зазвичай виражається у відсотках від номінальних розмірів деталі та враховується при виготовленні модельного оснащення і кокілю.

Для даного вилівка, який виготовляється з алюмінієвого сплаву АК9М2, величину лінійної усадки прийнято в межах 1,8–1,9 %. Це значення забезпечує компенсацію усадочних процесів під час затвердіння та охолодження металу і дозволяє отримати готовий вилівок із розмірами, що відповідають вимогам конструкторської документації.

### **2.3. Розрахунок і конструювання підживлювача**

Для запобігання утворенню усадкових дефектів у процесі кристалізації металу застосовують спеціальні елементи живлення — підживлювачі, які являють собою додаткові об'єми рідкого металу, призначені для компенсації усадки в найбільш масивних ділянках вилівка. Під час затвердіння металу підживлювач виконує функцію резервуара, з якого рідкий метал надходить у термічні вузли Вилівка, запобігаючи утворенню усадочних раковин і пористості.

При литті під низьким тиском роль підживлювача виконує прес-залишок — частина металу, що залишається після завершення процесу кристалізації та не

входить до конструкції готового виробу. Після вилучення виливка прес-залишок відокремлюють від деталі механічним способом. Незважаючи на відмінність конструкції від традиційних підживлювачів, його основне призначення залишається незмінним — забезпечення безперервного живлення виливка рідким металом у процесі затвердіння.

Одним із найважливіших етапів проектування системи живлення є визначення раціональної форми та розмірів підживлювача. Вибір конфігурації здійснюють з урахуванням необхідності забезпечення максимального запасу рідкого металу при мінімальних витратах сплаву. Проведені розрахунки та практичний досвід свідчать, що для даного випадку найбільш доцільною формою горизонтального перерізу підживлювача є коло. Така форма забезпечує найкраще співвідношення між об'ємом і площею охолоджуваної поверхні, що сприяє сповільненню процесу затвердіння та підвищує ефективність живлення виливка.

Розрахунок параметрів підживлювача виконують з урахуванням ряду обов'язкових умов. Насамперед час його затвердіння повинен перевищувати час затвердіння ділянки виливка, яку він підживлює. Лише за цієї умови підживлювач зберігатиме запас рідкого металу до завершення кристалізації термічного вузла. Крім того, об'єм підживлювача має бути достатнім для компенсації об'ємної усадки металу під час переходу з рідкого стану в твердий. Важливо також забезпечити таку конфігурацію системи живлення, за якої усадочна раковина утворюватиметься виключно в об'ємі підживлювача і не поширюватиметься на його шийку або безпосередньо на виливок.

Особливе значення при проектуванні підживлювача має визначення його висоти. Цей параметр значною мірою залежить від глибини розташування усадочної раковини, яка формується в процесі кристалізації металу. Чим більшою є глибина проникнення усадочної раковини, тим більшою повинна бути висота підживлювача для забезпечення її повного розміщення в межах підживлювача. Це дозволяє локалізувати усадкові дефекти за межами робочої

частини виливка та забезпечити отримання якісного виробу без внутрішніх порожнин і дефектів.

Для визначення глибини залягання усадочної раковини в підживлювачі з достатньою для практичних розрахунків точністю використовують емпіричну формулу Б. В. Гуляєва, яка враховує геометричні параметри підживлювача та особливості процесу кристалізації металу. Це дозволяє обґрунтовано вибрати розміри підживлювача та забезпечити ефективне живлення виливка протягом усього періоду його затвердіння:

$$Z = \frac{\alpha(V_0 - V_n)}{2S_p} + \sqrt{\left[\frac{\alpha(V_0 - V_n)}{2S_p}\right]^2 + m^2 x^2}, \text{ см,}$$

де  $Z$  – глибина області усадочної раковини;

$\alpha$  – коефіцієнт об'ємної усадки сплаву,  $\alpha = 0,038$ ;

$V_0$  – об'єм виливка,  $\text{см}^3$ ;

$V_n$  – об'єм підживлювача,  $\text{см}^3$ ;

$m$  – постійна величина; для закритих підживлювачів  $m = 1$ , для відкритих  $m = 2$ ;

$x$  – найменша відстань від зовнішньої поверхні виливка до поверхні кінця затвердіння (для прямокутних підживлювачів  $x$  – половина ширини в нижньому перерізі).

$S_p$  – середня площа горизонтального перерізу області усадочної раковини.

Область усадочної раковини має форму конуса або клина. Тоді для визначення значень  $x$  і  $S_p$  у круглому підживлювачі, шириною вгорі  $2R_1 = 70$  мм, знизу  $2R_2 = 40$  мм.

$$S_p = R_1 L - \frac{2}{3} R_1 R_2 = 3 \cdot 18 - \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot 2,5 = 49 \text{ см}^2$$

$$x = R_2 = 2,5 \text{ см}$$

Об'єм підживлювача дорівнює :

$$V = L \cdot \frac{2R_1 + 2R_2}{2} = 18 \cdot \frac{7+4}{2} = 99 \text{ см}^3$$

Об'єм виливка:

$$V_{\text{відл}} = \frac{G_{\text{відл}}}{\rho_{\text{відл}}} = \frac{1991}{2,5} = 796,4 \text{ см}^3.$$

Підставляючи у вихідну формулу, одержимо:

$$Z = \frac{0,038(796,4 - 99)}{2 \cdot 4,9} + \sqrt{\left[ \frac{0,038(796,4 - 99)}{2 \cdot 4,9} \right]^2 + 1^2 \cdot 1,25^2} = 5,67 \text{ см}$$

Основні вимоги до підживлювача при визначенні його висоти полягають в тому, що глибина області усадочної раковини повинна займати заздалегідь задану частину висоти підживлювача:

$$\frac{Z}{H_{np}} = \sigma,$$

де  $H_{np}$  – висота підживлювача, см;

$\sigma$  – коефіцієнт запасу.

При  $\sigma = 1$  усадочна раковина не виходить за межі підживлювача.

Приймаємо коефіцієнт запасу  $\sigma = 0,75$ . Тоді:

$$H_n = \frac{Z}{\sigma} = \frac{5,67}{0,75} = 7,56 \text{ см}$$

Приймаємо висоту підживлювача (прес-залишку) 80 мм.

## 2.4. Розрахунок і конструювання ливникової системи

Для виготовлення виливка обирається нижня (сифонна) ливникова система, що зумовлено специфікою процесу лиття під низьким тиском. У таких машинах розплавлений метал із тигля через металопровід подається до порожнини форми знизу вгору. Такий спосіб підведення металу є найбільш доцільним для виливків подібної конфігурації, оскільки забезпечує плавне та рівномірне заповнення форми без утворення бризок, спінювання й інтенсивного окиснення розплаву. Крім того, нижнє заповнення сприяє затриманню неметалевих включень, які можуть міститися в металі, покращує заповнюваність тонкостінних ділянок і забезпечує послідовне витіснення повітря та газів із порожнини форми. Важливою перевагою такої системи є також простота її відділення від виливка після затвердіння та менша витрата металу порівняно з вертикально-щілинними ливниковими системами.

Отже, нижня ливникова система залежно від геометричних параметрів виливка та умов процесу лиття здатна повністю або частково виконувати основні функції ливникової системи: забезпечувати надійне заповнення форми, підтримувати ламінарний режим руху розплаву, затримувати шлакові та інші неметалеві включення, а також сприяти спрямованому затвердінню металу. Завдяки цим перевагам вона найбільш повно відповідає вимогам, що висуваються до ливникових систем, і тому широко застосовується під час лиття виливків із алюмінієвих та інших легких сплавів.

Розраховуємо початковий гідростатичний напір за формулою:

$$H_o = h_e + h_m,$$

де  $h_e$  - рівень розплаву в виливку, мм; приймаємо  $h_e = 104,5$  мм;

$h_m$  - висота металопроводу (відстань від прес форми до нижнього рівня металу в тиглі), мм; приймаємо  $h_m = 1000$  мм.

$$H_o = 104,5 + 1000 = 1104,5 \text{ мм.}$$

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

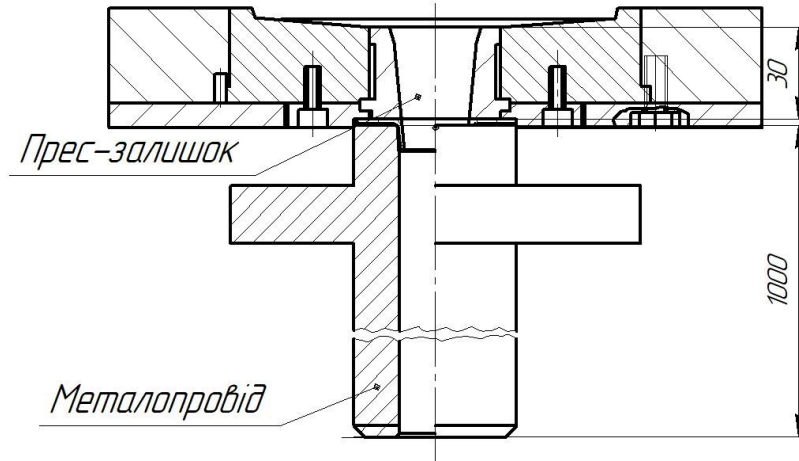


Рис. 2.1. Схема до розрахунку ливникової системи.

Знаходимо середній розрахунковий напір по формулі:

$$H_p = H_o - \frac{h_{\text{вiдл}}}{2},$$

де  $H_o$  - розрахунковий гідростатичний напір, см;

$h_{\text{вiдл}}$  - висота вилівка, см.

$$H_p = 110,45 - \frac{10,45}{2} = 105,22 \text{ см.}$$

Визначення розрахункової швидкості руху розплаву по металопроводу.

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

$d_{\text{ст}} = 0,04$  м - діаметр стояка в нижньому перерізі;

$H_o = 1$  м - початковий гідростатичний напір;

$L_k = 0,0$  м - довжина колектора;

$n=1$  - кількість живильників.

Швидкість руху розплаву  $V_c = 1,3$  м/с.

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

Виливок по конфігурації відноситься до категорії простих, тому витрату розплаву визначаємо за формулою:

$$Q_\phi = R \cdot P_\phi,$$

де  $R = 2 \dots 6$  - коефіцієнт заповнюваності. Приймаємо  $R = 2$ ;

$P_\phi$  - периметр перерізу форми в місці підводу розплаву:

$$P_\phi = 2 \cdot \pi \cdot r + 2 \cdot l,$$

$$P_\phi = 2 \cdot 3,14 \cdot 2,5 + 2 \cdot 4,5 = 24,7 \text{ см},$$

$$Q_\phi = 2 \cdot 24,7 = 49,4 \text{ см}^3/\text{с}.$$

Визначаємо середню швидкість підйому розплаву у формі, за формулою:

$$V_\phi = \frac{Q_\phi}{F_\phi},$$

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

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

$$V_\phi = \frac{49,4}{58,8} = 0,84 \text{ см/с}$$

По табл. 7 [3] для виливка середньою товщиною  $\sigma_{vid} = 18$  мм і висотою  $h_{vid} = 104,5$  мм знаходимо мінімальну швидкість підйому розплаву  $V_{\phi min} = 0,45$  см/с.

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

## 2.5. Опис технологічного процесу виготовлення виливка

Технологічний процес виготовлення виливка методом лиття під низьким тиском охоплює підготовку форми, заливання металу, охолодження, вилучення виливка, очищення та контроль якості. Для виготовлення корпусу НШ32УК використовують прес-форму, змонтовану на гідравлічній машині лиття під низьким тиском моделі ВР3 фірми LPM-GROUP. Після складання форму розігрівають до 250–300 °С, наносять у два шари теплоізоляційну протипригарну фарбу GILLOLIN AL223 (після розведення водою 1:5) і висушують.

Після закриття форми гідроприводом у неї подають алюмінієвий сплав АК9М2 при температурі близько 720 °С. Заповнення форми відбувається під дією надлишкового тиску, створюваного в камері машини. Після охолодження та затвердіння виливка витягують стержні, форму розкривають, а виштовхувачі виводять вилівок із порожнини форми. Вилівок знімають кліщами за підживлювач, складають у тару й транспортують на очисну дільницю.

На очисній дільниці підживлювачі відрізають на стрічкопильному верстаті; допустимий залишок після відділення — до 3 мм. Далі вилівки подають на контроль ВТК, де вибірково перевіряють твердість (90–110 НВ), відсутність видимих дефектів та базові геометричні розміри. Вилівок Корпус НШ32УК додатково випробовують на герметичність на спеціальних гідравлічних стендах. У процесі використовують стандартний комплект інструменту: счищалку, фарборозпилувач, молоток, терпуг, кліщі, клеймо заливальника, шабер і виколотку.

## 2.6. Опис процесу проектування ливарної форми

Форма для виготовлення виливка «Корпус НШ32УК» призначена для роботи в умовах багаторазових циклів нагрівання та охолодження, дії підвищених температур і механічних навантажень, що виникають під час лиття під низьким тиском. З метою забезпечення необхідної міцності, теплостійкості

та довговічності форму виготовляють литтям зі сталі 45. Для підвищення експлуатаційних характеристик матеріал додатково легують міддю, ванадієм, титаном, оловом та алюмінієм у кількостях відповідно 1,0; 0,5; 0,1; 0,2 та 3,0 %. Легуючі добавки вводять у розплав безпосередньо в ківш перед заливанням. Після отримання заготовки форми виконують механічну обробку всіх формуютьовуючих поверхонь до досягнення необхідної точності розмірів і шорсткості.

Конструкція форми передбачає наявність системи ребер жорсткості, які забезпечують високу міцність і стійкість до деформацій при одночасному зниженні металоємності та маси конструкції. Основа форми виготовляється з тієї ж легованої сталі 45, що й основні елементи форми, що дозволяє забезпечити однакові теплофізичні та механічні властивості всіх складових вузла.

Змінні вставки форми виготовляють із плоских сталевих заготовок шляхом механічної обробки на металорізальних верстатах. Особливу увагу приділяють обробці поверхонь, які безпосередньо контактують із рідким металом. Після механічної обробки ці поверхні полірують, що сприяє підвищенню якості поверхні вилівка, полегшує його вилучення з форми та зменшує ймовірність пригару металу. Матеріалом вставок є сталь 45 згідно з ГОСТ 1050–74.

Бокові формуютьовуючі елементи та нижня плита також виготовляються механічною обробкою плоских заготовок зі сталі 45. Після досягнення необхідних геометричних параметрів робочі поверхні піддають ретельному поліруванню для забезпечення стабільності процесу лиття та високої якості отримуваних вилівоків.

Виштовхувачі, призначені для видалення вилівка після його затвердіння, виготовляють із циліндричних заготовок методом токарної та подальшої механічної обробки. Робочі поверхні виштовхувачів також полірують, що забезпечує плавне вилучення вилівка без пошкодження його поверхні. Для їх виготовлення застосовується сталь 45 за ГОСТ 1050–74.

Для підвищення зносостійкості, твердості та опору термічній втомі всі формуютьовуючі поверхні форми після механічної обробки піддають хіміко-

термічній обробці – азотуванню. Товщина азотованого шару становить близько 0,05 мм, а твердість поверхні після обробки досягає HRC 30–35. Така обробка значно збільшує ресурс роботи форми, знижує інтенсивність її зношування та забезпечує стабільність геометричних параметрів протягом тривалого терміну експлуатації.

## ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти розв'язане важливе технічне завдання розробки технології виготовлення виливка «Корпус НШ32УК» методом лиття під низьким тиском.

При розв'язанні даного завдання вирішено наступні задачі:

- вибрано матеріали та обладнання для виготовлення виливків та описано роботу ливарного обладнання;
- розраховано і сконструйовано ливникову систему;
- описано технологічний процес виготовлення виливка;
- описано процес проектування ливарної форми;

У першому розділі як матеріал для виготовлення виливків обрано алюмінієвий сплав АК9М3, наведено його хімічний склад, механічні та ливарні властивості. Для плавки сплаву вибрано плавильну піч К240/126 фірми Nabertherm місткістю 600 кг. Розглянуто підготовку печі до роботи, а також технологію плавки та рафінування алюмінієвих сплавів.

Для отримання виливків застосовано машину лиття під низьким тиском ВРЗ фірми LPM-GROUP. Наведено її конструкцію, принцип дії та основні технічні характеристики. Також описано підготовку ливарної форми та технологічний процес лиття. Видалення ливникової системи і підживлювачів здійснюється на стрічкопильному верстаті, а очищення та зачищення виливків — на обдирно-шліфувальному обладнанні.

У другому розділі виконано аналіз конструкції деталі та вимог до виливка, розроблено технологічний процес його виготовлення, модельно-ливарні вказівки й технічні умови. Проведено розрахунок підживлювача, спроектовано ливниково-живильну систему та перевірено її ефективність. Крім того, розглянуто проектування ливарного оснащення, описано технологію виготовлення виливка і визначено основні параметри контролю його якості.

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

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Проектування ливарних цехів: Навч. посібник/Б. Ф. Туманський. К.: НМК, 1992. 188 с.
2. Аксьонов П. Н. Обладнання ливарних цехів. М: Машинобудування, 1997. 510с.
3. Вейнік А.І. Кокіль. Мінськ: Наука та техніка, 1972. - 352 с.
4. Тітов Н.Д., Степанов Ю.А. Технологія ливарного виробництва: Підручник для машинобудівних технікумів. 2-ге вид. Перероб. М: Машинобудування, 1978. 432 с.
5. Фрідляндер І.М. Металознавство алюмінію та його сплавів. Довідник М: Металургія. 1983.С.560.
6. Хричіков В.Є., Меньяло О.В. Ліварне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. – Видання друге, доопрацьоване. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. - 89с.
7. Фесенко О. М. Технологія ліварної форми (ТЛФ): навч. посіб. до практичних зайняття та самостійної роботи для студентів галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 136 «Металургія» спеціалізації «Ліварне виробництво» / О.М. Фесенко.-Краматорськ: ДДМА, 2017. - 112 с.
8. Ліварні властивості металів та сплавів для прецизійного лиття: підручник для вищих навчальних закладів / С.І. Реп'яха, В. Г. Могилатенко, З. О. Івченко [та ін.]; під ред. С. І. Реп'яха, В. Г. Могилатенка. - 2-ге вид., Допов. та доопраць. - Запоріжжя: Мотор Січ, 2016. - 474 с.
9. Теорія ливарних сплавів: навч. посібник / Г. О. Бялік, В. В. Наумік, В. В. Луньов, О. В. Пархоменко. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. - 156 с.
10. Практикум з теорії ливарних сплавів та процесів: навч. посібник / Г. А. Бялік, Є. І. Цивірко, О. Ф. Кузовов, В. В. Луньов. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. - 98 с.
11. ДСТУ 3015-95 Виливки з алюмінієвих сплавів. Технічні умови.
12. ДСТУ 2839-94 Сплави алюмінієві ливарні

13. Теоретичні основи ливарного виробництва: навч. посіб. / Могилатенко В.Г., Пономаренко О.І, Дробязко В.М. [та ін.]. – Харків: НТУ «ХП», 2011. – 288 с.
14. Ливарна гідравліка: Навчальний посібник / [В. М. Дробязко, О. М. Фесенко, Р. В. Лютій, М. А. Фесенко]; Краматорськ: ДДМА, 2010. - 108 с.
15. Белов А.Ф., Добаткін В.І., Квасов Ф.І. та ін Алюмінієві сплави. Металознавство алюмінію та його сплавів. Довідник М: Металургія. 1971. С. 352.
16. Пономаренко О.І. Оптимізація технологічних рішень для цехів ливарного виробництва: Монографія / О.І. Пономаренко. – Харків: НТУ «ХП», 2007. – 320 с.
17. Верховлюк О. М., Нарівський О. В., Могилатенко, В. Г. Технології отримання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. посіб. / за ред. акад. НАН України В.Л. Знайдека. – Київ: Вініченко, 2016. – 224 с.
18. Лиття в кокіль /За ред. А.І. Вейника. М: Машинобудув, 1980. 415 с.
19. Ливниково-живильні системи. Конструювання та розрахунок ливникових систем. Навчальний посібник/Л.А. Большаків. - Маріуполь: ПДТУ, 2007. 125 с.
20. Москальов І.М. Ливарні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. К.: НМК ВО, 1993. 368 с.
21. Рубцов Н. Н. Спеціальні види лиття. М.: Машгіз, 1955. 331 с.
22. Білопухов А. К. Технологічні режими лиття під тиском. М: Машинобудування, 1967. 239 с.
23. Галдін Н. М. Літникові системи для виливків з легких сплавів. М: Машинобудування, 1978. 195 с.

# ДОДАТКИ