

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
Корпусу НШ10УК методом лиття в кокіль»**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го
курсу групи ПМ-22з-1

ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 «Прикладна
механіка»

_____ Данило ОСТРЯНСЬКИЙ

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____ Сергій КОНОНЧУК

Рецензент:

Кропивницький – 2026

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 «Компютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 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**

Остряньський Данило Сергійович

1. Тема роботи: «Розробка технології виготовлення виливка Корпус НШ10УК методом лиття в кокіль
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 лиття в кокіль виливка Корпус НШ10УК. Виконати огляд існуючих способів виготовлення виливків із алюмінієвих сплавів. Розробити технологію виготовлення виливка Корпус НШ10УК 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	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

_____ Остряньський Д.С.

Анотація

ОСТРЯНСЬКИЙ Данило Сергійович. Розробка технології виготовлення виливка Корпус НШ10УК методом лиття в кокіль. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2026. 38 с.

Для виготовлення виливків обрано алюмінієвий сплав АК5М2Ц4, наведено його хімічний склад, а також проаналізовано механічні та ливарні характеристики. Для проведення плавки використано плавильно-роздавальні печі НО-136. Розглянуто особливості технології плавлення та рафінування алюмінієвих сплавів.

Як основне ливарне обладнання прийнято однопозиційну універсальну кокільну машину моделі 82А403. Описано порядок підготовки кокілю до експлуатації та послідовність виконання операцій лиття. Видалення ливникових елементів і підживлювачів передбачено на стрічкопильному відрізнному верстаті, а очищення поверхні виливків і зачистку місць відокремлення ливникової системи – на обдирно-шліфувальному обладнанні.

У роботі проведено аналіз конструктивних особливостей деталі та вимог до готового виливка. Розроблено технологічний процес його виготовлення, визначено модельно-ливарні вказівки та технічні умови. Спроектовано ливниково-живильну систему з подальшою оцінкою її працездатності та ефективності. Також виконано проектування ливарного оснащення, обґрунтовано технологічні параметри виробництва та обрано методи контролю якості виливків.

Результатом роботи стали технологічні креслення деталі з нанесеними модельно-ливарними вказівками та креслення форми в зібраному вигляді.

Ключові слова: алюмінієвий сплав, виливок, кокільне лиття, модельно-ливарні вказівки, ливниково-живильна система, ливарне оснащення.

Abstract

OSTRYANSKY Danylo. Development of technology for manufacturing a casting of the NSh10UK housing by the chill casting method. Qualification work for the first (bachelor's) level of higher education: CUNTU, 2026. 38 p.

The aluminum alloy AlSi5Cu2Zn4 was selected for the manufacture of castings, its chemical composition was given, and mechanical and casting characteristics were analyzed. Melting and dispensing furnaces NO-136 were used for melting. The features of the technology for melting and refining aluminum alloys were considered.

A single-position universal chill machine model 82A403 was adopted as the main casting equipment. The procedure for preparing the chill for operation and the sequence of casting operations are described. Removal of sprue elements and feeders is provided on a band saw cutting machine, and cleaning of the surface of the castings and cleaning of the sprue system separation points is carried out on the peeling and grinding equipment.

The work analyzes the design features of the part and the requirements for the finished casting. The technological process of its manufacture is developed, the model-casting instructions and technical conditions are determined. The sprue-feeding system is designed with a subsequent assessment of its performance and efficiency. The design of the casting equipment is also performed, the technological parameters of production are justified, and methods for controlling the quality of castings are selected.

The result of the work are technological drawings of the part with applied model-casting instructions and drawings of the mold in assembled form.

Keywords: aluminum alloy, casting, gravity casting, model-casting instructions, sprue-feeding system, foundry equipment

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ	9
1.1. Хімічний склад та механічні властивості сплаву	9
1.2. Плавильний агрегат для плавки сплаву	11
1.3. Кокільна машина для лиття алюмінієвих сплавів	12
1.4. Вогнетривкі покриття для кокілів та плавильного інструменту	13
1.5. Обладнання для фінішної очистки виливків	15
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В КОКІЛЬ	17
ВИЛИВКА КОРПУС НШ10УК	
2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних вимог на виливок	17
2.2 Розроблення модельно-ливарних вказівок	19
2.2.1. Вибір поверхні роз'єму форми	19
2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку	20
2.2.3. Вибір радіусів скруглень та ливарних уклонів	21
2.2.4. Припуски на усадку	21
2.2.5. Розробка креслення модельно-ливарних вказівок	21
2.3. Розрахунок та конструювання ливниково-живильної системи	23
2.4. Технологічний процес виготовлення виливка	28
2.5. Опис процесу проектування ливарної оснастки	30
2.6. Контроль якості виливків	32
ВИСНОВКИ	33
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	35
ДОДАТКИ	38

ВСТУП

Актуальність роботи. Лиття в кокіль алюмінієвих сплавів є одним із найбільш ефективних та поширених способів виготовлення корпусних деталей шестеренчастих насосів. Актуальність застосування цього методу обумовлена постійним зростанням вимог до якості виливків, точності їх геометричних розмірів, зниження маси виробів та підвищення продуктивності виробництва.

Корпуси шестеренчастих насосів працюють в умовах значних механічних навантажень, дії робочого тиску та вібрацій, тому до них висувуються підвищені вимоги щодо міцності, герметичності та стабільності розмірів. Алюмінієві ливарні сплави завдяки поєднанню високої питомої міцності, корозійної стійкості, добрих антифрикційних властивостей і невеликої густини дозволяють отримувати легкі та надійні конструкції насосів. Зменшення маси насосного обладнання особливо важливе для мобільної техніки, автомобілебудування, сільськогосподарських машин та гідравлічних систем.

Використання кокільного лиття забезпечує вищу швидкість охолодження металу порівняно з литтям у піщані форми, що сприяє формуванню дрібнозернистої структури та покращенню механічних властивостей виливків. Крім того, кокіль дозволяє отримувати виливки з високою точністю розмірів, малою шорсткістю поверхні та мінімальними припусками на механічну обробку. Це знижує витрати металу, скорочує трудомісткість подальших операцій і підвищує економічну ефективність виробництва.

Сучасні тенденції розвитку машинобудування спрямовані на підвищення енергоефективності та ресурсозбереження виробництва. У цих умовах кокільне лиття алюмінієвих сплавів набуває особливого значення, оскільки забезпечує високу продуктивність, можливість багаторазового використання металевих форм та стабільність якості продукції при серійному й масовому випуску деталей. Важливою перевагою є також можливість механізації та автоматизації технологічного процесу.

Таким чином, застосування технології лиття в кокіль для виготовлення корпусів шестеренчастих насосів є технічно та економічно обґрунтованим. Цей спосіб дозволяє отримувати якісні виливки зі стабільними властивостями, зменшувати виробничі витрати та забезпечувати високі експлуатаційні характеристики готових виробів, що визначає його актуальність для сучасного машинобудування..

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка технології лиття в кокіль вилівка «Корпус НШ10УК».

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- вибору обладнання для виготовлення виливків та опису його роботи;
- розрахунку і конструювання ливникової системи;
- опису технологічного процесу виготовлення вилівка;
- опису процесу проектування ливарного оснащення.

Об'єкт дослідження – технологічний процес лиття в кокіль алюмінієвих сплавів.

Предмет дослідження – модельно-ливарне оснащення для виготовлення вилівка «Корпус НШ10УК».

Практичне значення – розраховано та спроектовано ливарну форму для виготовлення вилівка «Корпус НШ10УК».

Особистий внесок – вибрано матеріали, обладнання для виготовлення вилівка «Корпус НШ10УК», розраховано ливникову систему, описано процес проектування ливарного оснащення та спроектовано креслення модельно-ливарних вказівок та форми в зборі.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ

Матеріали та технологічне обладнання, що застосовуються у ливарному виробництві, суттєво впливають на якість готових виливків, продуктивність процесу та їх собівартість. Тому вибір матеріалів і оснащення повинен здійснюватися з урахуванням особливостей конкретного технологічного процесу, вимог до властивостей вилівка, типу виробництва та способу лиття. При цьому необхідно враховувати якість матеріалів, їх вартість, доступність, екологічну безпеку та технологічність використання.

Під час виготовлення виливків з алюмінієвих сплавів як шихтові матеріали використовують первинний чушковий алюміній необхідного хімічного складу, зворотні відходи власного виробництва, а також алюмінієвий брухт. Для забезпечення заданого хімічного складу розплав застосовують первинний алюміній та лігатури, які містять необхідні легувальні елементи, зокрема кремній, мідь, магній, марганець, титан, олово та інші.

Очищення алюмінієвих розплавів від неметалевих включень і газів здійснюють шляхом рафінування із використанням спеціальних флюсів. У процесі взаємодії флюсу з металом відбувається інтенсивне перемішування розплаву, що сприяє видаленню неметалевих домішок та їх спливанню на поверхню у вигляді шлаку. Після завершення рафінування метал витримують певний час для осадження та спливання продуктів очищення, після чого шлак видаляють із поверхні розплаву та збирають у спеціальні ємності.

1.1. Хімічний склад та механічні властивості сплаву

Для виготовлення вилівка «Корпус НШ10УК» обрано алюмінієвий ливарний сплав АК5М2Ц4 згідно з ДСТУ 2839-94. Даний сплав забезпечує необхідний комплекс механічних властивостей готових виробів, зокрема

достатню міцність, твердість та пластичність. Для підвищення експлуатаційних характеристик виливків передбачено проведення термічної обробки за режимом T1, що сприяє покращенню структури металу та підвищенню якості готової деталі.

Хімічний склад сплаву наведено в таблиці 1.1, а його механічні властивості — в таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву

Сплав	Si	Mg	Cu	Mn	Ti	Zn	Fe	Al
AK5M2Ц4	4,0–6,0	0,2– 0,8	1,5– 3,5	0,2– 0,8	0,05– 0,2	3,5– 8,0	< 1,3	Основа

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сплаву

Сплав	Вид ТО	Границя міцності при розтягу, кгс/мм ² (Па)	Відносне видовження, %	Твердість, НВ	Лінійна усадка, %	Рідинотекучість (мм) по спіральній пробі
AK5M2Ц4	T1	22 (216)	1,3	95–125	1,25	410

Алюмінієві сплави належать до найпоширеніших конструкційних ливарних матеріалів кольорової металургії. Їх широке застосування в машинобудуванні обумовлене поєднанням малої густини, достатньо високої міцності, корозійної стійкості та добрих ливарних властивостей. Основу таких сплавів становить алюміній, до якого додають один або декілька легувальних елементів для поліпшення механічних, технологічних і спеціальних властивостей. Легування дозволяє підвищити міцність, твердість, пластичність, оброблюваність різанням, рідинотекучість, зменшити зернистість структури та покращити інші характеристики, що визначають якість виливків і ефективність їх подальшої експлуатації.

1.2. Плавильний агрегат для плавки сплаву

Плавлення сплаву АК5М2Ц4 здійснюють у тигельній електропечі опору НО-136 місткістю 220 кг. Тривалість однієї плавки становить 120–150 хв залежно від маси завалки та температурного режиму.

Перед початком роботи виконують підготовку тигля, яка включає очищення його внутрішньої поверхні від залишків попереднього покриття та забруднень. Після очищення тигель нагрівають до температури 100–150 °С і наносять захисне покриття, що складається з 250 г оксиду цинку, 1 л технічної води та 100 г рідкого скла. Перший шар покриття сушать при температурі 150–200 °С протягом 10–15 хв, після чого наносять другий шар. Завершальним етапом підготовки є прожарювання тигля при температурі близько 750 °С. Захисне покриття забезпечує надійний захист футерівки та зберігає свої властивості протягом 10–15 плавок.

Завантаження шихтових матеріалів проводять відповідно до розрахунку шихти. Спочатку в піч завантажують зворотні відходи власного виробництва (ливники, підживлювачі та браковані виливки), хімічний склад яких відповідає сплаву АК5М2Ц4, після чого додають чушковий сплав цієї ж марки. Для коригування вмісту окремих елементів за необхідності застосовують лігатури, зокрема мідну та марганцеву.

З метою покращення структури металу та підвищення механічних властивостей виливків розплав піддають модифікуванню препаратом EUTEKTAL T200. Його використання сприяє подрібненню зерна, зменшенню неоднорідності структури та покращенню комплексу експлуатаційних характеристик готових виробів.

Під час плавлення частина металу втрачається внаслідок окиснення, утворення шлаку, формування оксидних плівок та вигару окремих компонентів сплаву. Додаткові втрати виникають під час транспортування та розливання розплаву через зливи і розбризкування металу. Значення технологічних втрат

при плавці сплаву АК5М2Ц4 в тигельній печі опору НО-136 наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Втрати металу при плавці

Марка сплаву	Види втрат, %			
	Шлак	Оксидні плівки	Угар	Загальні втрати
АК5М2Ц4	4,500		1,610	6,110

1.3. Кокільна машина для лиття алюмінієвих сплавів

Для виготовлення вилівка «Корпус НШ10УК» застосовується однопозиційна універсальна кокільна машина моделі 82А403, оснащена гідравлічним приводом. Використання даного обладнання забезпечує надійне змикання та розмикання напівформ, стабільність технологічного процесу лиття і високу продуктивність при серійному виробництві вилівок. Конструкція машини дозволяє механізувати основні операції кокільного лиття та забезпечити необхідну точність виготовлення вилівок. Технічні характеристики кокільної машини моделі 82А403 наведені в таблиці 1.4.:

Таблиця 1.4 – Технічна характеристика кокільної машини мод. 82А403

Параметр, од. вим.	Значення
Продуктивність, відл./год	25
Зусилля запирання форми, т	25
Розміри підкокільних плит, мм	200x800
Хід піддона, мм	530
Розміри кокіля, мм	200x1000x800
Габаритні розміри машини, мм:	
довжина	2860
ширина	1650
висота	1550
Маса машини, т	5

1.4. Вогнетривкі покриття для кокілів та плавильного інструменту

Для захисту робочих поверхонь кокіля від впливу розплавленого металу та регулювання процесу тепловідведення використовують вогнетривкі покриття на основі оксиду цинку графітового або графіто-керамічного типу. Склад застосовуваних покриттів наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Склад вогнетривких покриттів для кокілів 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

Покриття марок П1, П2 і П3 готують шляхом змішування компонентів у підігрій до температури 60–80 °С воді. Перед використанням оксид цинку просіюють через сито з розміром комірок 0,5 мм для видалення сторонніх включень та грудок. Після цього його поступово вводять у воду відповідно до встановленої рецептури та ретельно перемішують до отримання однорідної суспензії. Для покриття П2 додатково вводять рідке скло, яке підвищує міцність і стійкість покриття до руйнування під час експлуатації.

Покриття П4 на основі препарату Gillolin A1223 готують безпосередньо перед використанням. Для цього в ємність заливають одну об'ємну частину концентрату та додають від трьох до п'яти об'ємних частин води при температурі навколишнього середовища. Отриману суміш перемішують до повного утворення однорідного складу.

Перед нанесенням покриття на плавильний інструмент (ковші, шлакозчищальки, дзвінки) його поверхню очищають від залишків старого покриття, шлаку, оксидів та інших забруднень. Підготовлене покриття наносять

рівномірним тонким шаром за допомогою пульверизатора, пензля або методом занурення. Після нанесення інструмент нагрівають до температури 150–200 °С для висушування та закріплення покриття. У процесі експлуатації покриття періодично відновлюють у місцях його пошкодження.

Підготовка кокіля до нанесення вогнетривкого покриття передбачає ретельне очищення формуютьочих поверхонь від залишків попереднього шару, металевих настилів, оксидів та інших забруднень. Після очищення порожнини форми продувають стисненим повітрям. Для забезпечення спрямованої кристалізації прибуткову частину кокіля теплоізолюють азбестовим листом товщиною 5 мм. Далі кокіль нагрівають до температури 150–200 °С за допомогою інжекційного пальника або шляхом виконання серії промивних заливок розплавленим металом. Як правило, для стабілізації теплового режиму проводять 6–7 таких заливок.

Після досягнення необхідної температури на робочі поверхні форми наносять вогнетривке покриття, а потім здійснюють його сушіння протягом 5–7 хвилин. У процесі роботи стан покриття контролюють, а при появі ознак руйнування або зношування виконують його повторне нанесення.

Після підготовки кокіля форму підтримують у нагрітому стані при температурі, що не перевищує 200 °С. Після заливання розплаву та охолодження вилівка до температури приблизно 400 °С кокіль розкривають і здійснюють видалення вилівка.

Температура заливання визначається маркою сплаву, конфігурацією деталі та товщиною її стінок. Тривалість витримки вилівка у формі залежить від його маси, габаритних розмірів і умов охолодження. Надто раннє розкриття кокіля може призвести до деформації або руйнування вилівка через недостатню міцність металу. Надмірна витримка, навпаки, здатна спричинити виникнення усадкових тріщин унаслідок обмеження усадки жорсткою металевою формою. Необхідний час витримки визначають розрахунковим шляхом та уточнюють експериментально під час освоєння технологічного процесу.

1.5. Обладнання для фінішної очистки виливків

Для видалення ливниково-живильної системи та підживлювачів після вибивання виливків застосовують стрічкопилний верстат моделі JET HVBS-812R. Дане обладнання призначене для різання широкого спектра конструкційних матеріалів, які використовуються в машинобудуванні, зокрема алюмінієвих сплавів, кольорових металів, сталей та чавунів. Верстат поєднує високу продуктивність із компактними габаритами, що забезпечує зручність його експлуатації в умовах ливарного виробництва.

Однією з переваг верстата є можливість виконання різання як під прямим, так і під заданим кутом. Це досягається завдяки конструкції поворотних лещат або механізму повороту пиляльної рами. Для підвищення стійкості ріжучого інструменту та покращення умов різання передбачено використання системи подачі мастильно-охолоджувальної рідини.

Конструкція JET HVBS-812R включає полегшені шківи збільшеного діаметра, механізм швидкого натягування стрічкового полотна та роликові напрямні з можливістю регулювання. Подача пиляльної рами здійснюється за допомогою гідравлічної системи, оснащеної кінцевими вимикачами, що забезпечують автоматичне завершення циклу різання після проходження заготовки. Лещата верстата дозволяють регулювати силу затискання, положення губок та кут повороту в межах до 45°. Крім того, обладнання має широкий діапазон налаштування швидкості різання та подачі, що дає можливість адаптувати режим роботи до властивостей оброблюваного матеріалу.

Остаточне очищення виливків від залишків ливниково-живильної системи, обля, задирок та інших дефектів поверхні виконують на обдирно-шліфувальних верстатах (табл. 1.7). Для цієї операції використовується обдирно-шліфувальний верстат моделі ЗМ634, який забезпечує ефективне зачищення поверхні виливків та підготовку їх до подальших технологічних операцій.

Верстат 3М634 є універсальним обладнанням, що дозволяє виконувати не лише обдирку литих заготовок, а й широкий спектр слюсарно-зачисних робіт. За його допомогою здійснюють видалення задирок, обробку фасок, зачищення місць відокремлення ливників, заточування різального інструменту та профілювання металевих деталей. Завдяки своїй універсальності та простоті експлуатації даний верстат широко використовується на завершальних стадіях виготовлення виливків.

2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ЛИТТЯ В КОКІЛЬ ВИЛИВКА КОРПУС НШ10УК

2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних вимог на виливок

Деталлю називають виріб, виготовлений з однорідного матеріалу без застосування складальних або монтажних операцій. Виливок являє собою деталь, отриману шляхом заливання розплавленого металу у ливарну форму, де відбуваються процеси його охолодження та кристалізації.

Деталь «Корпус шестеренного насоса НШ10УК» (рис. 2.1) [БР-131.26.17.01.00.00] виготовляється методом лиття в металевий кокіль із алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4 відповідно до ДСТУ 2839-94. Хімічний склад і механічні характеристики сплаву наведені в таблицях 1.1 та 1.2. Виливок належить до II групи складності та має клас точності 7-0-0-7 згідно з ГОСТ 26645. Допустима різниця товщини стінок становить не більше 1 мм, короблення — до 1,5 мм, а зміщення по площині роз'єму — не більше 0,5 мм. Ливарні уклони прийняті 3°, радіуси заокруглень становлять 1–3 мм. Рівень загальної пористості не повинен перевищувати еталон № 2 шкали пористості згідно з ДСТУ 2839.

Корпус характеризується відносно простою зовнішньою формою та нескладною внутрішньою конфігурацією. Його призначення полягає у забезпеченні жорсткого взаємного розташування ведучої та веденої шестерень. Для цього у внутрішній порожнині встановлюються втулки, які підтримують необхідну міжосьову відстань між шестернями та забезпечують їх обертання в підшипниках ковзання.

Конструктивно корпус має горщикоподібну форму. Усередині розташовані циліндричні отвори для розміщення цапф втулок. На фланцях у середній частині корпусу виконані впускний і випускний канали, розташовані один навпроти одного та перпендикулярно до осі насоса. Зовнішня поверхня підсилена ребрами жорсткості.

2.2 Розроблення модельно-ливарних вказівок

Перед початком розроблення технологічного процесу виготовлення виливка необхідно виконати детальний аналіз його конструкції та встановлених технічних вимог. На основі проведеного аналізу визначають положення виливка у формі під час заливання металу та його кристалізації, обирають поверхню роз'єму форми, призначають припуски на механічну обробку й усадку сплаву, встановлюють величини ливарних уклонів і радіусів заокруглень. Крім того, визначають спосіб підведення металу до порожнини форми, конфігурацію ливниково-живильної системи, кількість виливків у формі та виконують розрахунок елементів ливникової системи.

2.2.1. Вибір поверхні роз'єму форми

Одним із найважливіших етапів проєктування технології виготовлення виливка є правильний вибір поверхні роз'єму форми, оскільки від цього значною мірою залежить якість готового виробу, точність його розмірів і зручність формування. Положення площини роз'єму визначається конструктивними особливостями виливка, технологічними вимогами до нього та специфікою обраного способу лиття.

Під час вибору поверхні роз'єму необхідно дотримуватися таких основних положень:

- для прийнятого способу виготовлення виливка площину роз'єму доцільно розташовувати вертикально;
- кількість поверхонь роз'єму повинна бути мінімально можливою;
- конструкція роз'єму має забезпечувати зручність контролю геометричних параметрів форми;
- перевагу слід надавати плоским поверхням роз'єму;
- розташування площини роз'єму повинно виключати застосування підвісних стержнів та забезпечувати зручне встановлення основних стержнів;

– базові поверхні, що використовуються при механічній обробці, бажано розміщувати в одній півформі з оброблюваними поверхнями, не допускаючи їх перетину площиною роз'єму.

Після аналізу конструкції деталі та наведених вимог прийнято вертикальне розташування площини роз'єму з однією поверхнею розділення, що проходить через середню частину виливка. Таке рішення забезпечує просте видалення виливка з форми, сприяє підвищенню точності виготовлення та спрощує процес формоутворення.

Обрану поверхню роз'єму показано на кресленні виливка та на рис. 2.2.

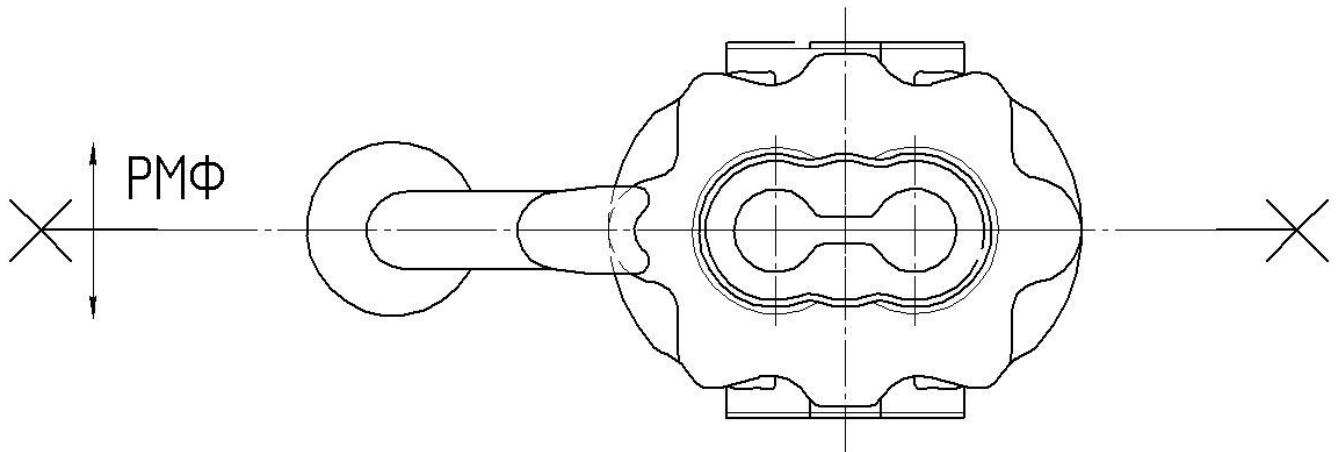


Рисунок 2.2 – Поверхня роз'єму форми

2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку

Розміри виливка визначаються на основі номінальних розмірів готової деталі з урахуванням припусків, необхідних для подальшої механічної обробки. Величину припуску призначають залежно від максимального габаритного розміру виливка, розташування оброблюваної поверхні під час заливання форми (верхня, нижня або бічна), способу виготовлення виливка та вимог до його точності.

Для виливків з алюмінієвих сплавів, виготовлених методом лиття в кокіль, значення припусків на механічну обробку встановлюються відповідно до вимог

ГОСТ 26645. Призначені припуски для окремих поверхонь виливка наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Припуски механічної обробки виливка

Найбільший розмір	Положення при заливці	Найменший розмір
1,5	Верх	1,2
1,5	Низ	1,2
1,5	Збоку	1,2
1,5	Внутрішня поверхня	1,2

2.2.3. Вибір радіусів скруглень та ливарних уклонів

Радіуси скруглень регламентовані ГОСТ 10948 і вказуються на креслені контуром червоного кольору і розміром скруглення. Проте, не всі значення скруглень показані на креслені. Невказані скруглення занесені в технічні вимоги на виливок. Аналогічно показуються на креслені ливарні уклони:

- неказані ливарні уклони становлять 3°;
- неказані ливарні радіуси – 3 мм.

2.2.4. Припуски на усадку

Під припуском на усадку розуміють збільшення всіх розмірів моделі порівняно з розмірами виливка з метою компенсації ливарної усадки металу під час кристалізації та охолодження. Усадка зазвичай задається у відсотках від номінальних розмірів готового виливка.

Для алюмінієвого сплаву АК5М2Ц4 при виготовленні виливків у кокіль приймаємо лінійну усадку на рівні 1,25 %, а об'ємну усадку — 3,75 %.

2.2.5. Розробка креслення модельно-ливарних вказівок

В основу проектування модельно-ливарних вказівок покладено графічне зображення деталі «Корпус НШ10УК». Відповідно до вимог ГОСТ 3.1125, такий технологічний документ містить комплекс спеціальних відміток.

На початковому кресленні обов'язково відображають просторове розміщення виливка всередині форми під час її заповнення рідким металом та подальшої кристалізації, а також нормативи технологічних припусків під механічну обробку.

Крім того, графічно фіксують лінії стикування напівформ, контури ливарних стрижнів із монтажними зазорами, зони розміщення елементів ливниково-живильної системи, а також конфігурацію і габарити підживлювачів.

Проекція майбутнього виливка має чітко відтворювати його орієнтацію у просторі в момент заливання форми. Усі отвори, які технологічно неможливо отримати безпосередньо литтям, повністю перекривають суцільною лінією.

Додаткові конструктивні елементи ливарної форми додають до основного креслення згідно з чинними стандартами. Лінію розділу форми та моделі позначають прямим лінійним сегментом із буквеним індексом «РМФ», а будь-які інші графічні позначення виконують суворо за ГОСТ 2.423.

Припуски, передбачені для подальшої механічної обробки, наносять тонкими суцільними лініями, а їхнє числове значення проставляють безпосередньо перед символом шорсткості чи зазначають через величину формувального уклону. Характеристики мікрогеометрії поверхонь виливка регулюються ГОСТ 2.309.

За умови ідентичних вимог до шорсткості всіх ділянок деталі, відповідне маркування виносять у верхній правий кут робочого поля.

Побудову елементів підживлення та проставлення їхніх розмірів регламентує ГОСТ 2.423.

Компоненти ливникової системи викреслюють тонкою суцільною лінією в загальному масштабі документа, не штрихуючи площі поперечних перерізів. Проте в межах кожного перерізу дозволено вказувати площу у квадратних сантиметрах, повну кількість каналів та їхній сумарний сукупний переріз.

2.3. Розрахунок та конструювання ливниково-живильної системи

2.3.1. Загальні принципи проектування ливникових систем.

Ливниково-живильна система являє собою сукупність взаємопов'язаних каналів, призначених для транспортування розплавленого металу від місця заливання до порожнини форми. Вона забезпечує рівномірне та безперервне заповнення форми металом і створює умови для отримання якісного виливка. До складу типової ливникової системи входять ливникова чаша (або заливальна воронка), стояк, шлаковловлювач та живильники. Конструкція живильника повинна забезпечувати надійне надходження металу в порожнину форми та можливість його легкого відокремлення від виливка після завершення процесу лиття без пошкодження поверхні виробу.

2.3.2. Вибір місця підведення металу. Підведення металу до порожнини форми приймаємо в нижній частині виливка із застосуванням сифонної схеми заповнення. Такий спосіб забезпечує плавне надходження розплаву та сприяє спокійному заповненню форми без значного турбулентного руху металу. У результаті неметалеві включення та оксидні плівки концентруються у верхніх зонах форми, що покращує якість поверхні та внутрішню щільність виливка. Нижнє підведення металу також сприяє отриманню герметичних виливків і широко використовується під час виготовлення деталей подібної конфігурації з алюмінієвих сплавів.

2.3.3. Вибір типу ливникової системи. Для виготовлення даного виливка приймається розширююча сифонна ливникова система вертикального виконання. Підведення металу здійснюється через живильник прямокутного поперечного перерізу. Обрана конструкція забезпечує необхідну швидкість руху розплаву, знижує ймовірність утворення оксидних включень та сприяє отриманню якісного виливка (рис. 2.3).

2.3.4. Розрахунок і конструювання підживлювача. Підживлювач призначений для компенсації об'ємної усадки металу під час кристалізації та запобігання виникненню усадкових дефектів, таких як раковини й рихлоти. Його функція полягає в забезпеченні безперервного надходження рідкого металу до зон виливка, які тверднуть останніми. Розміщення підживлювачів здійснюють над тепловими вузлами, де спостерігається найбільша концентрація тепла та найдовша тривалість затвердіння. Для даного виливка найбільш доцільним є встановлення підживлювача у верхній частині конструкції. Розрахунок його геометричних параметрів виконується за прийнятою методикою.

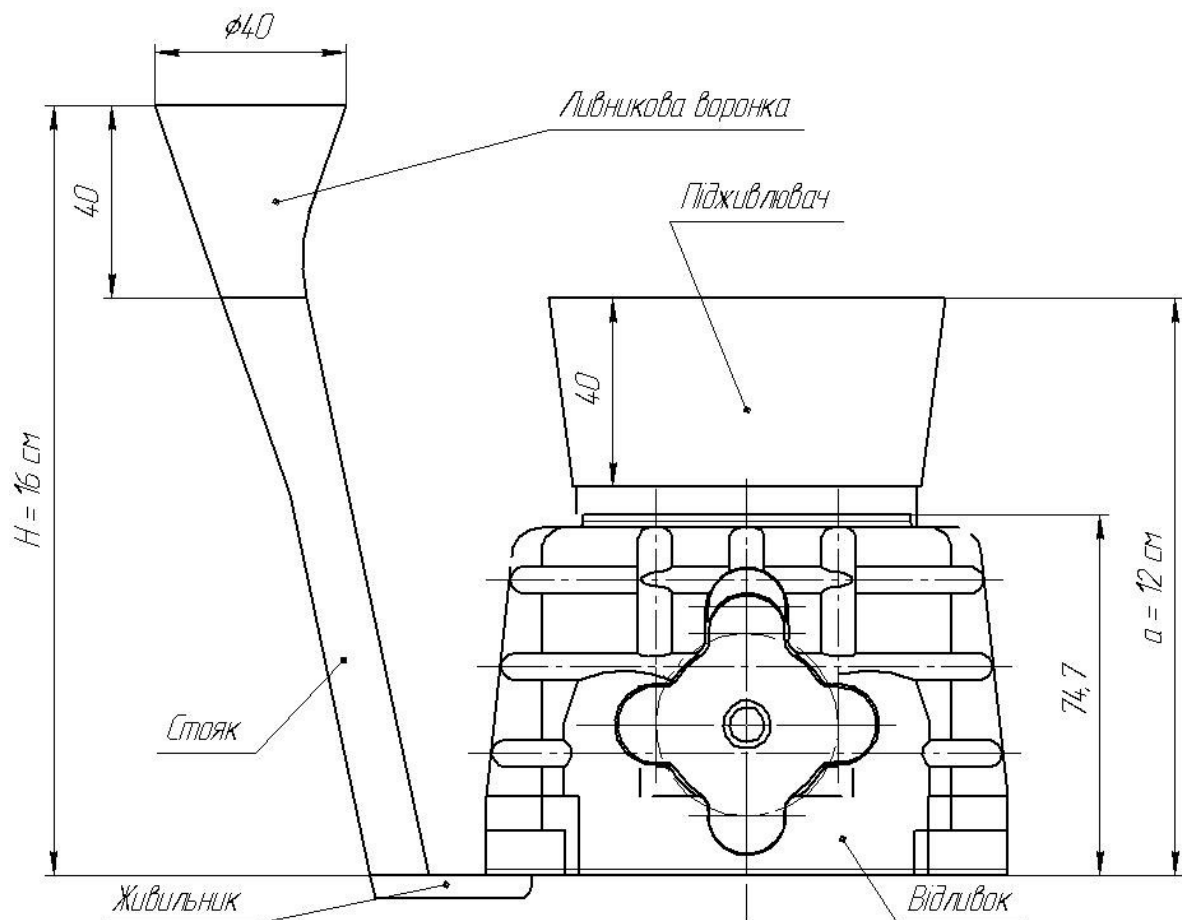


Рисунок 2.3 – Конструкція ливникової системи

Висота підживлювача розраховується за формулою:

$$H = \sqrt[3]{\frac{\chi_{\varepsilon}}{\varepsilon_{\varepsilon}} V_{\Pi}}, \quad (2.1)$$

де x_ε – коефіцієнт усадочної раковини, $x_\varepsilon = 9 \dots 12$;

ε_ε – відношення об'єму усадочної раковини $\varepsilon_\varepsilon = 9 \dots 12$;

V_Π – необхідний об'єм підживлювача, см^3 .

$$V_\Pi = \frac{\beta}{k} V_{\text{відл}}, \quad (2.2)$$

де β – коефіцієнт $\beta = 0,035 \dots 0,08$;

$k = 0,25$;

$V_{\text{відл}}$ – об'єм виливка $V_{\text{відл}} = 1000 \text{ см}^3$.

$$V_\Pi = \frac{0,07}{0,25} \cdot 1000 = 280 \text{ см}^3$$

$$H = \sqrt[3]{\frac{9}{10} \cdot 280} = 6,31 \text{ см} = 63,1 \text{ мм}$$

Діаметр підживлювача розраховується за формулою:

$$D = H(1,1 \dots 1,5), \quad (2.3)$$

$$D = 64 \cdot (1,1 \dots 1,5) = 70 \dots 96 \text{ мм}$$

Маса розрахованого підживлювача знаходиться в межах 0,66–1,25 кг при масі виливка 0,93 кг, що відповідає 70–135 % від маси деталі. Така величина свідчить про значну металоємність підживлювача та недостатню економічність прийнятого варіанта.

З метою підвищення ефективності компенсації усадки в термічних вузлах виливка та забезпечення кращого відведення газів із порожнини форми доцільно застосувати підживлювач прямокутної форми. Його конструкцію та основні розміри наведено на рис. 2.4. Для збільшення тривалості перебування металу в рідкому стані та покращення живильної здатності підживлювач рекомендується

теплоізолювати азбестовим листом завтовшки 5 мм, який встановлюється по всій бічній поверхні теплообміну..

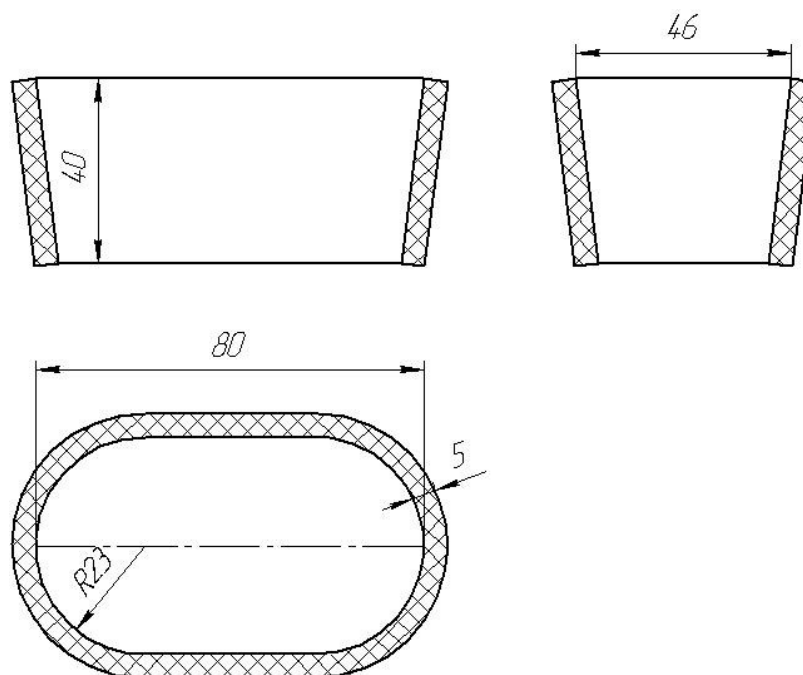


Рисунок 2.4 – Схема з розмірами підживлювача

2.3.5. Розрахунок ливникової системи. Геометричні параметри елементів ливникової системи для виливків з алюмінієвих сплавів визначають з урахуванням таких вимог:

- значення критерію Рейнольдса (Re) в усіх елементах ливникової системи не повинно перевищувати допустимих меж, що забезпечує спокійний рух розплаву та зменшує ймовірність потрапляння в порожнину форми оксидних плівок і неметалевих включень;

- швидкість переміщення металу повинна бути достатньою для повного заповнення форми без утворення таких дефектів, як недоливи та спаї.

Для отримання якісних виливків з алюмінієвих сплавів необхідно забезпечити поступове зменшення швидкості потоку розплаву від стояка до живильника. Це сприяє зниженню турбулентності потоку та покращує умови заповнення форми. Враховуючи зазначені вимоги, для даного виливка приймається розширювальна ливникова система зі співвідношенням площ поперечних перерізів стояка та живильника:

$$F_{\text{ст.}} : F_{\text{ж.}} = 1 : 1,1 \quad (2.4)$$

де $F_{\text{ст.}}$, $F_{\text{ж.}}$ – площі поперечного перерізу стояка, та живильника відповідно.

Для визначення середнього значення мінімальної швидкості підйому металу у формі u_0 використовують різні теоретичні та експериментальні залежності. Досить точною є залежність:

$$u_p = (1,3 \dots 1,5) l_{\text{відл}}, \quad (2.5)$$

де u_p – початкова швидкість підйому розплаву у формі, см/с

$l_{\text{відл}}$ – характерна товщина стінки вилівка, см.

При литті дрібних та середніх виливків у кокіль площа поперечного перерізу стояка визначається за формулою:

$$F_{\text{ст}} = \frac{(1,3 \dots 1,5)G}{\rho H_{\text{відл}} l_{\text{відл}} u_p}, \quad (2.6)$$

де G – маса вилівка з підживлювачем, г, $G=1203$ г;

ρ – густина розплаву, г/см³, $\rho=2,75$ г/см³;

$H_{\text{відл}}$ – висота вилівка, см, $H_{\text{відл}}=12$ см;

$l_{\text{відл}}$ – характерна товщина стінки вилівка, см, $l_{\text{відл}}=2,0$ см;

u_p – швидкість руху розплаву, см/с.

Швидкість руху розплаву визначається за формулою:

$$u_p = \mu \sqrt{2gH_p}, \quad (2.7)$$

де μ – коефіцієнт витрати, $\mu = 0,65 \dots 0,75$;

H_p – статичний напір. Для обраного підводу металу у форму $H_p = H$ (рис. 2.3),

$$u_p = 0,7 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 16} = 22 \text{ см/с}$$

$$F_{ст} = \frac{(1,3 \dots 1,5) \cdot 1203}{2,75 \cdot 12 \cdot 2,0 \cdot 22} = 1,07 \dots 1,24 \text{ см}^2$$

Приймаємо $F_{ст}=1,12 \text{ см}^2$, тоді $F_{ж}=1,20 \text{ см}^2$ (в нашому випадку ливникова система складається зі стояка та живильника).

Стояк приймаємо овального перерізу, розмірами 10x12 мм з заокругленнями радіусом 3 мм.

Живильник приймаємо прямокутний ширина – 20 мм, висотою – 6 мм.

Перерізи елементів ливникової системи показано на рис. 2.5.

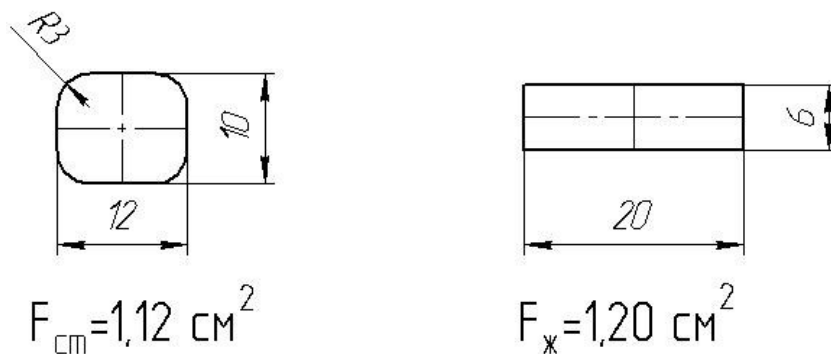


Рисунок 2.5 – Перерізи елементів ливникової системи

2.4. Технологічний процес виготовлення виливка

Технологічний процес виготовлення виливка в кокіль охоплює комплекс взаємопов'язаних операцій, до яких належать складання та підготовка кокілю, заливання розплавленого металу, охолодження і вилучення виливка з форми, а також його очищення та контроль якості.

Виливок корпусу шестеренного насоса НШ10УК виготовляють методом лиття в металевий кокіль, який встановлюють на кокільний верстат 82А403.

Технічна характеристика обладнання наведена в розділі 1. Під час монтажу кокіль закріплюють на штоках бічних гідроциліндрів та напрямних елементах верстата. Одночасно встановлюють стрижні, призначені для формування внутрішніх порожнин виливка. Конструкції напівформи та складеного кокілю наведені на рис. 2.6 і 2.7.

Після складання кокіль нагрівають до температури 150–200 °С за допомогою газового пальника. Попередній підігрів форми забезпечує стабільні умови заповнення порожнини розплавом і сприяє підвищенню якості виливка. На розігріті робочі поверхні наносять захисне покриття Gillolin AL223 G, яке виконує функції теплоізоляції та запобігає пригару металу до стінок кокілю. Покриття виготовлене на основі оксидної кераміки та графіту і постачається у вигляді порошку. Перед використанням його розводять водою у співвідношенні 1:5 та наносять пульверизатором у два шари. Після нанесення першого шару витримують паузу тривалістю 2–3 хв для його висихання, після чого наносять другий шар. Рекомендована товщина покриття становить близько 0,2 мм. У процесі експлуатації кокілю захисний шар за необхідності поновлюють.

Після висихання покриття кокіль закривають за допомогою гідравлічного приводу, а стрижні встановлюють у робоче положення. Підготовлена форма готова до приймання розплаву. Для виготовлення виливка використовують алюмінієвий сплав АК5МЗ, який заливають у кокіль при температурі 720–740 °С. Подачу металу здійснюють ковшем місткістю 8 кг.

Після заливання відбувається охолодження та кристалізація сплаву у формі. Через 5–7 хв, після повного затвердіння металу та досягнення температури вилучення, за допомогою гідроприводу витягують стрижні та розкривають кокіль. Виливок виймають із форми кліщами, захоплюючи його за підживлювач, після чого занурюють у бак з водою для проведення гартування. Така операція дозволяє забезпечити необхідний комплекс механічних властивостей готового виробу.

Після охолодження виливки накопичують у тарі та транспортують внутрішньоцеховим транспортом на очисну дільницю. Тут виконують

відділення підживлювачів на стрікопильному верстаті. Після обрізання допускається залишення виступу металу висотою не більше 5 мм. Завершальним етапом технологічного процесу є очищення поверхні вилівка та контроль його якості на відповідність встановленим вимогам.

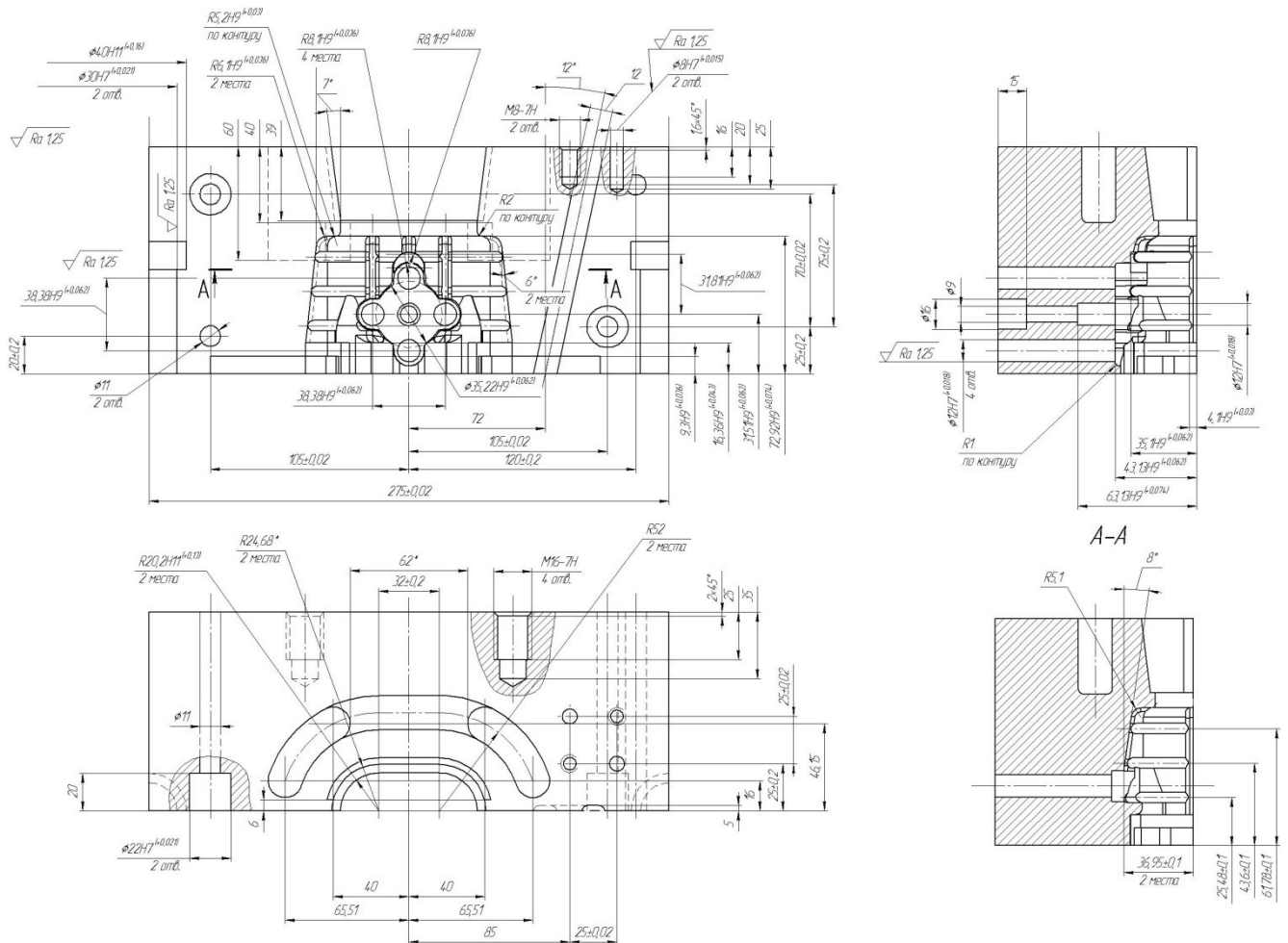


Рисунок 2.6 – Напівформа кокіля

2.5. Опис процесу проектування ливарної оснастки

Для виготовлення вилівка «Корпус шестеренного насоса НШ10УК» застосовується металевий кокіль, матеріалом якого є сталь 45. Виготовлення кокілю починається з підготовки заготовок необхідних розмірів, отриманих із прокатного металу. Після цього виконують комплекс механічних операцій,

спрямованих на формування робочих поверхонь і порожнин, що забезпечують отримання конфігурації вилівка відповідно до конструкторської документації.

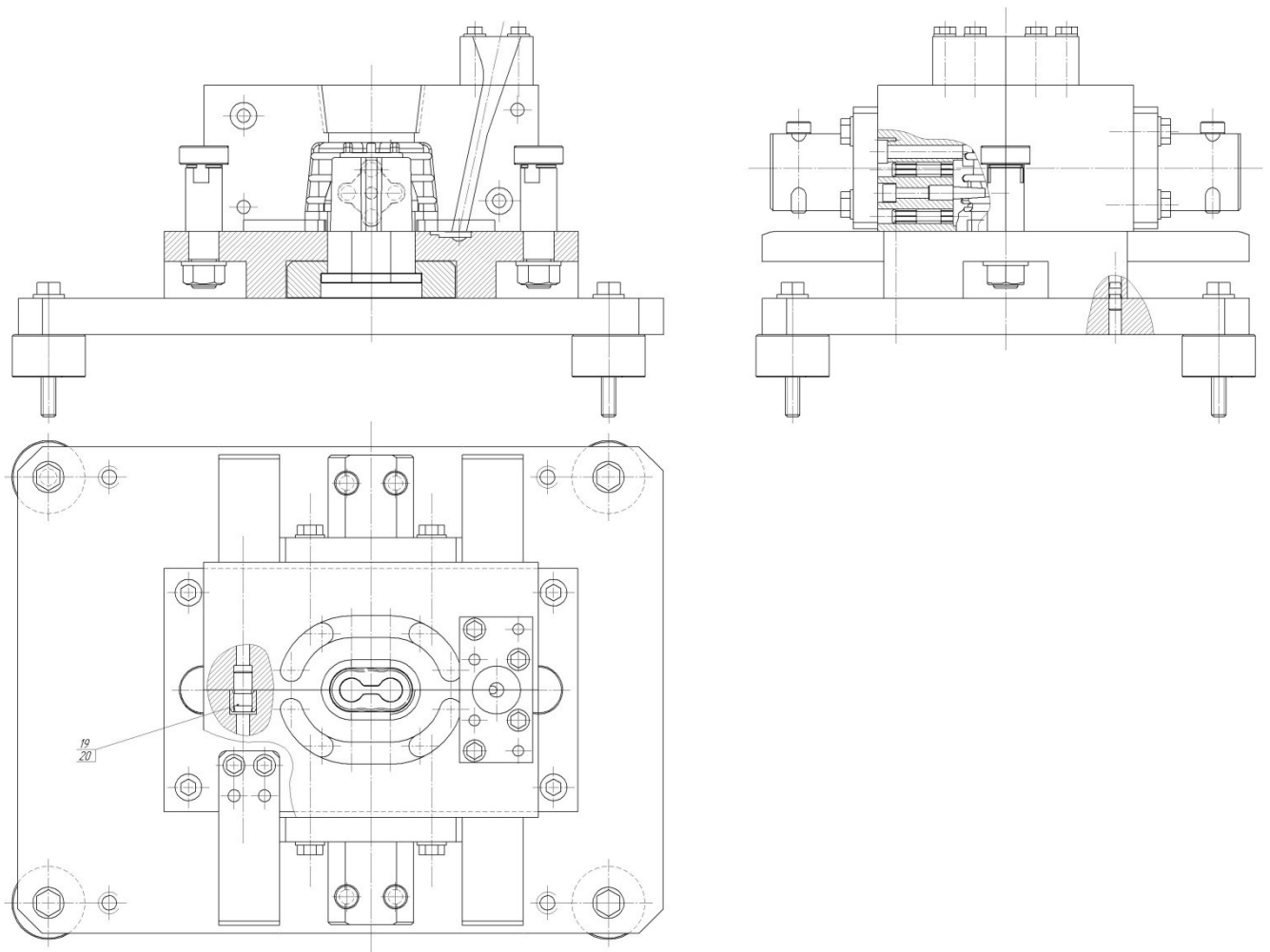


Рисунок 2.7 – Форма в зібраному стані

Центральні стрижні, призначені для формування внутрішніх порожнин вилівка, виготовляють механічною обробкою круглих сталевих заготовок. Аналогічним способом із сталевих прутків виготовляють бічні стрижні. Для підвищення якості поверхні вилівка всі поверхні оснастки, які безпосередньо контактують із розплавленим металом, піддають ретельному поліруванню. Як матеріал для виготовлення стрижнів використовують сталь 45.

З метою підвищення зносостійкості та довговічності оснастки всі стрижні піддають хіміко-термічній обробці — азотуванню. Товщина зміцненого шару становить близько 0,05 мм, що забезпечує твердість поверхні в межах HRC 30–

35 та підвищує опірність робочих поверхонь до термічного й механічного впливу в процесі експлуатації.

2.6. Контроль якості виливків

Після завершення всіх технологічних операцій виливки проходять остаточний контроль якості, метою якого є перевірка відповідності продукції вимогам нормативної документації та технічних умов. Під час контролю оцінюють хімічний склад сплаву, механічні властивості, структуру металу, геометричні параметри, а також наявність поверхневих і внутрішніх дефектів.

Контроль хімічного складу алюмінієвого сплаву виконують один раз для кожної плавки методом спектрального аналізу. Отримані результати повинні відповідати встановленим вимогам до марки сплаву.

Перевірку механічних властивостей проводять для кожної партії виливків, але не рідше одного разу на тиждень. З такою ж періодичністю здійснюють контроль структури металу та рівня пористості, що дозволяє своєчасно виявляти відхилення технологічного процесу.

Контроль геометричних розмірів і точності форми виконують у бюро технічних вимірювань відділу технічного контролю. Такі перевірки здійснюють під час введення в експлуатацію нового кокілю або після переналагодження кокільного обладнання.

Виявлення поверхневих дефектів, таких як тріщини, раковини, пригар та інші видимі недоліки, здійснюють шляхом зовнішнього огляду та порівняння з контрольними зразками. Для визначення прихованих дефектів використовують методи неруйнівного контролю, зокрема магнітну та світлову дефектоскопію, які дають можливість оцінити якість металу без пошкодження готового виробу.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти виконано розробку технології виготовлення виливка «Корпус НШ10УК» методом лиття в кокіль. У результаті проведених досліджень, розрахунків і конструкторсько-технологічних розробок вирішено комплекс завдань, пов'язаних із проектуванням технологічного процесу отримання якісного виливка із заданими експлуатаційними характеристиками.

У ході виконання роботи здійснено вибір матеріалу для виготовлення виливка, ливарного обладнання та допоміжного оснащення, виконано аналіз конструкції деталі та вимог до готового виробу. Розроблено технологічний процес виготовлення виливка, спроектовано ливниково-живильну систему, визначено параметри ливарної оснастки та обрано методи контролю якості продукції.

У першому розділі роботи як матеріал для виготовлення виливка обрано алюмінієвий сплав АК5М2Ц4. Наведено його хімічний склад, основні механічні характеристики та ливарні властивості, що обґрунтовують доцільність застосування цього сплаву для виготовлення корпусних деталей. Для плавлення сплаву вибрано плавильно-роздавальну піч НО-136 місткістю 220 кг. Розглянуто підготовку печі до роботи, нанесення захисних вогнетривких покриттів на тигель і плавильний інструмент, а також описано технологію плавки та рафінування алюмінієвих сплавів.

Для отримання виливків прийнято використання універсальної однопозиційної кокільної машини моделі 82А403. Наведено її конструктивні особливості, принцип дії та основні технічні характеристики. Також розглянуто процес підготовки кокілю до експлуатації та основні операції технологічного процесу лиття в металеві форми. Для видалення ливниково-живильної системи передбачено застосування стрічкопильного верстата, а операції очищення та остаточної обробки поверхні виливків виконуються на обдирно-шліфувальному обладнанні.

У другому розділі проведено аналіз конструкції деталі та технічних вимог до виливка, розроблено модельно-ливарні вказівки й технологічні умови виготовлення. Виконано розрахунок і конструювання ливниково-живильної системи з перевіркою її працездатності та ефективності. Описано процес проектування ливарної оснастки, розроблено технологію виготовлення виливка та визначено порядок контролю його якості на всіх основних етапах виробництва.

За результатами роботи розроблено комплект технологічної документації, який включає креслення деталі з модельно-ливарними вказівками та складальне креслення ливарної форми. Запропоновані технічні рішення забезпечують отримання якісного виливка «Корпус НШ10УК» із необхідними геометричними параметрами, механічними властивостями та мінімальним рівнем ливарних дефектів.

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. Тітов Н.Д., Степанов Ю.А. Технологія ливарного виробництва: Підручник для машинобудівних технікумів. 2-ге вид. Перероб. М: Машинобудування, 1978. 432 с.
4. Рожнецький І.А. Практичні та лабораторні роботи з ливарного виробництва. - Київ: Вища школа, 1973. - 83 с.
5. Ливниково-живильні системи. Конструювання та розрахунок ливникових систем. Навчальний посібник/Л.А. Большаків. - Маріуполь: ПДТУ, 2007. - 125 с.
6. В. П. Мовчан, М. М. Бережний. Основи металургії. Дніпропетровськ: Пороги. 2001. 336 с.
7. Хричіков В.Є., Меньяло О.В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. – Видання друге, доопрацьоване. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. - 89с.
8. Фесенко О. М. Технологія ливарної форми (ТЛФ): навч. посіб. до практичних зайняття та самостійної роботи для студентів галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 136 «Металургія» спеціалізації «Ливарне виробництво» / О.М. Фесенко.-Краматорськ: ДДМА, 2017. - 112 с.
9. Ливарні 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.
10. Теорія ливарних сплавів: навч. посібник / Г. О. Бялік, В. В. Наумік, В. В. Луцьов, О. В. Пархоменко. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. - 156 с.

11. 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.
12. Формувальні матеріали: підручник для студ. спеціальності 136 «Металургія», освітня програма «Комп'ютеризовані процеси лиття» / Р. В. Лютій, 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 «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. Дмитрович А.М. Довідник ливарника. - Мінськ: Вища школа, 1989. - 390 с.
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. Сумцов В.П. Устаткування ливарних цехів. К.: ІСДО, 1993. 552 с.
19. Конончук С.В., Пукалов В.В. Удосконалення технологічного процесу лиття у кокіль алюмінієвих сплавів. Литво – 2018: XIV Міжнар. наук.-практ. конф. Запоріжжя: АА Тандем, 2018. С. 119-120.
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. Ливникові системи для виливків з легких сплавів. М: Машинобудування, 1978. 195 с.
24. Лиття в кокіль / За ред. А.І. Вейника. М: Машинобудування, 1980. 415 с.
25. Застосування алюмінієвих сплавів. Довідкове керівництво / М. Б. Альтман [та ін]. М: Металургія, 1973. 408 с.
26. Дубінін Н.П. Беліков О.А та ін. Кокільне лиття. Довідковий посібник. М: Машинобудування, 1967. 456с.
27. Бєлов А.Ф., Добаткін В.І., Квасов Ф.І. та ін. Алюмінієві сплави. Металознавство алюмінію та його сплавів. Довідник М: Металургія. 1971. С. 352.
28. Бєлов А.Ф., Добаткін В.І., Квасов Ф.І. та ін. Алюмінієві сплави. Промислові деформовані, спечені та ливарні алюмінієві сплави. Довідник М.: Металургія.1972.С. 552.
29. Фрідляндер І.М. Металознавство алюмінію та його сплавів. Довідник М: Металургія. 1983.С.560.
30. Колобнєв, І.Ф. Термічна обробка алюмінієвих сплавів. М: Металургія, 1966. 394с.

ДОДАТКИ