

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
Важіль СУС методом лиття в піщано-
глинисту форму»**

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

ОПП «Інжиніринг технологій,
мехатроніка і 3D друк»

спеціальності 131 «Прикладна
механіка»

_____ Микола ЯВТУШЕНКО

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 «Комп'ютерний 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**

_____ Явтушенко Микола Миколайович

1. Тема роботи: «Розробка технології виготовлення виливка Важіль СУС методом лиття в піщано-глинисту форму»
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 піщано-глинисту форму виливка Важіль СУС. Виконати огляд існуючих способів виготовлення виливків із сталі. Розробити технологію виготовлення виливка Важіль СУС методом лиття в піщано-глинисту форму.
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

_____ Явтушенко М.М.

Анотація

ЯВТУШЕНКО Микола Миколайович. Розробка технології виготовлення виливка Важіль СУС методом лиття в піщано-глинисту форму. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2026. 46 с.

У кваліфікаційній роботі розроблено технологію виготовлення виливка «Важіль СУС» у піщано-глинистих формах. Для виготовлення деталі обґрунтовано вибір ливарної сталі 35Л, наведено її хімічний склад, основні механічні характеристики та ливарно-технологічні властивості. Для виплавки металу прийнято електродугову сталеплавильну піч ДСП-12 з кислотою футеровкою. Розглянуто конструкцію печі, особливості її роботи та основні технологічні операції під час виплавки сталі. Виконано розрахунок шихтових матеріалів методом підбору, що забезпечує отримання металу необхідного хімічного складу.

Для серійного виробництва виливків обрано автоматичну ливарну лінію ІЛ-225. Вибрано обладнання для виготовлення стержнів, а також розглянуто матеріали і технологічне оснащення для приготування формувальних та стержневих сумішей. Описано організацію технологічних операцій очистки виливків.

У роботі проведено аналіз конструкції деталі та вимог до готового виливка, розроблено модельно-ливарні вказівки й технічні умови на виготовлення. Виконано розрахунок та проектування ливниково-живильної системи, розроблено технологічний процес виробництва виливка і конструкцію ливарної оснастки. За результатами роботи створено технологічне креслення деталі з модельно-ливарними вказівками та складальне креслення ливарної форми.

Ключові слова: виливок, сталь 35Л, піщано-глиниста форма, електродугова сталеплавильна піч, ливниково-живильна система, стержень, формувальна суміш, ливарна оснастка, опока.

Abstract

YAVTUSHENKO Mykola. Development of technology for manufacturing the SUS lever casting by sand-clay mold casting. Qualification work for the first (bachelor's) level of higher education: CUNTU, 2026. 46 p.

The qualification work developed a technology for manufacturing a “Vazhil SUS” casting in sand-clay molds. The choice of 35L casting steel for manufacturing the part was justified, its chemical composition, main mechanical characteristics and casting and technological properties were given. An electric arc steelmaking furnace DSP-12 with an acid lining was adopted for smelting the metal. The design of the furnace, the features of its operation and the main technological operations during steel smelting were considered. The calculation of charge materials was performed using the selection method, which ensures the production of metal of the required chemical composition.

An automatic casting line IL-225 was selected for serial production of castings. Equipment for the manufacture of rods was selected, and materials and technological equipment for the preparation of molding and rod mixtures were also considered. The organization of technological operations for cleaning castings was described.

The work analyzed the design of the part and the requirements for the finished casting, developed model-casting instructions and technical conditions for manufacturing. The calculation and design of the sprue-feeding system were performed, the technological process of casting production and the design of the casting tooling were developed. Based on the results of the work, a technological drawing of the part with model-casting instructions and an assembly drawing of the casting mold were created.

Keywords: casting, steel 35L, sand-clay mold, electric arc steelmaking furnace, sprue-feeding system, rod, molding mixture, casting tooling, ingot.

ЗМІСТ	стор.
ВСТУП	7
1. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ	9
1.1. Характеристика сплаву що виплавляється	9
1.2. Плавильний агрегат для плавки сплаву	11
1.2.1. Устрій і робота плавильного відділення	13
1.3. Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм	16
1.4. Стержневе відділення	18
1.4.1. Устрій і робота стержневого відділення	19
1.5. Сумішеприготувальне відділення	20
1.6. Очисне відділення	25
1.7. Склади і допоміжні відділення ливарного цеху	29
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА	31
2.1. Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок	31
2.2 Розробка модельно-ливарних вказівок для виготовлення виливка	32
2.2.1. Визначення положення виливка у формі	32
2.2.2 Призначення припусків на механічну обробку та усадку, вибір галтелей, формувальних ухилів і стержневих знаків	32
2.3. Розрахунок і конструювання ливникової системи	33
2.3.1. Визначення габаритних розмірів опоки	33
2.3.2. Визначення оптимальної тривалості заливки	34
2.3.3. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи	35
2.4. Технологічний процес виготовлення виливка	39
2.5. Проектування ливарної оснастки	39
2.6. Контроль якості виливків	42
ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	44
ДОДАТКИ	46

ВСТУП

Актуальність роботи. Лиття сталевих виливків у піщано-глинисті форми залишається найактуальнішим і найбільш затребуваним способом виробництва в сучасному машинобудуванні завдяки своїй унікальній економічній вигідності та технологічній гнучкості. Цей метод охоплює понад сімдесят відсотків світового ринку фасонних деталей, оскільки дозволяє виготовляти елементи практично будь-яких габаритів — від невеликих компонентів вагою в кілька грамів до гігантських конструкцій масою в сотні тон. Висока температура плавлення та значна усадка сталі роблять піщано-глинисті суміші ідеальним матеріалом для формування, адже природна вогнетривкість кварцового піску та податливість форми мінімізують ризик появи гарячих тріщин і внутрішніх напружень у металі. Додатковою перевагою є низька вартість вихідних компонентів, таких як пісок, глина та вода, а також можливість регенерувати й повторно використовувати до дев'яноста відсотків відпрацьованої суміші, що суттєво знижує собівартість готової продукції. Швидка підготовка виробництва за допомогою дерев'яної чи пластикової оснастки дозволяє оперативно запускати нові деталі в серію порівняно з дорогим металевим кокільним литтям.

Технологічний процес лиття сталевих виливків в піщано-глинисту форму є незамінною основою для важкого, енергетичного, залізничного та сільськогосподарського машинобудування. Саме цим методом виготовляють корпуси великих редукторів, опорні плити, лопаті турбін, рами вагонів, автозчепи та масивні деталі ходової частини спецтехніки. На відміну від лиття в холоднотвердіючі суміші, класичний піщано-глинистий метод створює мінімальне екологічне навантаження завдяки використанню безпечних водних зв'язуючих замість токсичних синтетичних смол. Хоча спосіб має певні обмеження, пов'язані з підвищеною шорсткістю поверхні та потребою в обов'язковій подальшій механічній обробці, його актуальність стрімко зростає завдяки модернізації. Сучасні підприємства впроваджують високопродуктивні автоматичні формувальні лінії, застосовують комп'ютерне моделювання в

спеціалізованих системах для симуляції кристалізації металу без дефектів, а також використовують тривимірний друк для швидкого виготовлення модельних комплектів. У результаті поєднання традиційної дешевизни та цифрових технологій лиття в піщано-глинисті форми залишається головним і безальтернативним інструментом для отримання надійних сталевих заготовок у промислових масштабах.

Мета і задачі роботи. Метою даної роботи є розробка технології виготовлення виливка Важіль СУС методом лиття в піщано-глинисту форму.

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- обґрунтування вибору матеріалів та обладнання, що використовуються в технологічному процесі виготовлення виливків;
- розробка технічних умов та модельно-ливарних вказівок на виливок;
- розрахунок і конструювання ливникової системи;
- розробка технологічного процесу виготовлення виливка;
- опис процесу проектування ливарного оснащення.

Об'єкт дослідження – технологічний процес сталевого литва в піщано-глинисту форму.

Предмет дослідження – модельно-ливарне оснащення для виготовлення виливка «Важіль СУС» методом лиття в піщано-глинисту форму.

Практичне значення – розраховано та спроектовано модельно-ливарне оснащення для виготовлення виливка «Важіль СУС» методом лиття в піщано-глинисту форму.

Особистий внесок – Описано технологію виготовлення виливка «Важіль СУС», розраховано ливникову систему, описано процес проектування ливарного оснащення, спроектовано креслення модельно-ливарних вказівок та форми в зборі.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ

1.1. Характеристика сплаву що виплавляється

Відповідно до завдання кваліфікаційної роботи для виготовлення виливка обрано ливарну сталь марки 35Л згідно з ДСТУ 8781:2018. Ця сталь належить до групи вуглецевих ливарних сталей і широко використовується для виробництва відповідальних деталей машин та механізмів, які працюють під дією значних статичних і динамічних навантажень.

Ливарна сталь являє собою залізовуглецевий сплав із вмістом вуглецю до 2,14 %, який отримують шляхом плавлення шихтових матеріалів у металургійних агрегатах з подальшим заливанням розплаву в ливарні форми. На відміну від сталей, що виготовляються методами науглецювання заліза у твердому стані або порошковою металургією, ливарна сталь формується безпосередньо з рідкого металу, що дозволяє отримувати заготовки складної конфігурації з мінімальним обсягом механічної обробки.

Залежно від хімічного складу та ступеня легування ливарні сталі поділяють на вуглецеві, низьколеговані та високолеговані. До вуглецевих належать сталі марок 20Л, 25Л, 30Л, 35Л і 45Л. Низьколеговані сталі представлені марками 45ГЛ, 50ХГЛ, 40ХН2Л та іншими, а до високолегованих відносять сталі типу 20ХГМФЛ, 14Х18Н4Г4Л, 12Х25Н5ТМФЛ тощо.

Сталь 35Л характеризується високими показниками міцності, пластичності та ударної в'язкості. Вона має добру зносостійкість, здатність працювати в умовах змінних навантажень, добре піддається термічній і механічній обробці. Крім того, даний матеріал забезпечує необхідний рівень експлуатаційних властивостей, зокрема опір руйнуванню та достатню довговічність виробів.

Разом із перевагами ливарна сталь має певні технологічні особливості. Порівняно з чавунами вона характеризується нижчою рідинотекучістю, більшою лінійною та об'ємною усадкою, а також потребує вищих температур плавлення і заливання. Це ускладнює процес формування виливків та висуває підвищені вимоги до конструкції ливниково-живильної системи і технології лиття.

Хімічний склад, механічні характеристики та основні ливарні властивості сталі 35Л наведено в таблицях 1.1, 1.2 та 1.3.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сплаву

Сплав	C	Si	Mn	S	P
Сталь 35Л	0,32-0,40	0,20-0,52	0,45-0,90	до 0,06	до 0,06

Таблиця 1.2 – Механічні та ливарні властивості сплаву

Сплав	Границя міцності при розтягу, МПа	Відносне видовження, %	Твердість, МПа	Лінійна усадка, %	Рідинотекучість (мм) по спіральній пробі
Сталь 35Л	275	15	137–229	2,5	210

Таблиця 1.3 – Ливарні властивості сплаву сталь 35Л [6]

Температура плавлення t, °C	Показник тріщино-стійкості $K_{т.у}$	Схильність до утворення усадкових раковин $K_{у.р}$	Рідинотеку чістть $K_{р.т}$	Ливарна усадка, %	Схильність до утворення усадкової пористості $K_{у.п}$
1480 – 1495	0,8	1,2	1,0	2,2 – 2,3	1,0

1.2. Плавильний агрегат для плавки сплаву

Для виплавки сталі 35Л, призначеної для виготовлення фасонних виливків, доцільно використовувати дугові сталеплавильні електропечі, оснащені сучасними системами очищення відхідних газів. Таке обладнання забезпечує отримання металу необхідної якості, точне регулювання температурного режиму та можливість коригування хімічного складу розплаву в процесі плавки.

Сталь 35Л належить до групи середньовуглецевих нелегованих ливарних сталей. З огляду на її хімічний склад і вимоги до готового металу економічно доцільним є застосування печей з кислотою футеровкою. При використанні такої футеровки особливу увагу приділяють якості шихтових матеріалів, оскільки процеси видалення сірки та фосфору в кислих електропечах практично не відбуваються. Тому вміст цих шкідливих домішок у шихті повинен відповідати встановленим нормативним вимогам.

Дугові сталеплавильні печі є основним обладнанням для виплавки сталі в електromеталургійному виробництві. Для плавки сталі 35Л, що використовується у виготовленні фасонних виливків, застосовують електродугові печі, які забезпечують високу точність регулювання температури, можливість коригування хімічного складу металу та стабільну якість розплаву.

ДСП-12 належить до трифазних дугових печей із номінальною ємністю 12 т. Піч працює на змінному електричному струмі та живиться через понижуючий пічний трансформатор, що підключається до високовольтної мережі. Електрична енергія перетворюється в теплову за рахунок горіння електричних дуг між графітовими електродами та металевою шихтою.

Конструктивно піч складається з металевого кожуха, футерованого вогнетривким матеріалом, знімного склепіння, робочого вікна, механізмів нахилу ванни та переміщення електродів, а також систем електропостачання і регулювання режимів плавки. Робочий простір утворює ванна для рідкого металу і шлаку та верхня зона для завалки шихти і формування дуги.

Основні параметри печі ДСП-12 включають: номінальну місткість 12 т, три електроди для трифазного живлення, регульовану систему подачі електродів та ступінчасте регулювання напруги трансформатора. Піч забезпечує температури плавлення сталі до 1600–1700 °С і вище, що дозволяє отримувати як вуглецеві, так і леговані сталі.

Технологічний процес плавки включає кілька послідовних етапів: завалку шихти, період розплавлення, окислювально-рафінувальні процеси та випуск металу. На початковій стадії потужність обмежують для захисту футеровки, після формування електричних колодязів потужність збільшують до максимальних значень. У процесі плавки здійснюється регулювання довжини дуги шляхом переміщення електродів, що дозволяє керувати температурним режимом і швидкістю розплавлення.

Завдяки своїм технічним характеристикам піч ДСП-12 забезпечує ефективне отримання сталі необхідної якості при виробництві ливарних заготовок у промислових умовах.

Розрахунок шихти методом підбору в електродуговій сталеплавильній печі ДСП-12 з кислотою футеровкою [7].

На основі виробничих даних складаємо шихту для плавки в електродуговій печі. Хімічний склад металевої шихти для плавки наведено в табл. 1.4. Коефіцієнти засвоєння елементів K_c , – в табл. 1.5.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад шихти для плавки сталі 35Л

Матеріал	Масова доля, %				
	C	Si	Mn	S	P
Сталевий лом ст.5	0,32	0,25	0,65	0,04	0,035
Сталевий лом ст.35	0,35	0,36	0,65	0,04	0,035
Відходи виробництва	0,36	0,36	0,65	0,045	0,04
Феросіліцій ФС 45	-	25	0,7	0,04	0,05
Феромарганець ФМп 78	7,00	2	82	0,03	0,03

Таблиця 1.5 – Коефіцієнти засвоєння елементів

Група шихтових матеріалів	K_c	K_{Si}	K_{Mn}	K_S	K_P
Лом та карбюризатори	0,85	0,00	0,30	0,50	0,90
Феросплави	1,00	0,90	0,95	0,80	1,00

Для визначення вмісту компонентів у шихті проводимо розрахунок шихти методом підбору. Результати розрахунку зводимо до табл. 1.6.

1.2.1. Устрій і робота плавильного відділення

Плавильне відділення ливарного цеху розташоване з торцевого боку будівлі, що забезпечує зручну логістику подачі шихтових матеріалів та організацію технологічних потоків. Таке планування дозволяє ізолювати зону плавки від інших виробничих ділянок і зменшити вплив теплового та газового навантаження на суміжні ділянки цеху.

Шихтові матеріали, які надходять на підприємство залізничним транспортом, розвантажуються на спеціально обладнаному відкритому майданчику, розташованому вздовж колії. Це забезпечує безперервність постачання та оперативність виконання вантажно-розвантажувальних операцій. Металева шихта, що надходить у відкритих залізничних вагонах, вивантажується за допомогою мостового крана, оснащеного магнітною шайбою, що дозволяє ефективно захоплювати та переміщувати металеві елементи різної форми і маси.

Після розвантаження шихта надходить на складські ділянки, де її зберігання організовано у спеціальних заглиблених закромах. Таке рішення забезпечує стабільність зберігання матеріалів. Закроми розташовані нижче рівня підлоги складу приблизно на 4 м, що дозволяє також оптимізувати процес завантаження та подачі матеріалів. Переміщення металевої шихти до місць зберігання, а також її подальша подача до плавильних печей здійснюється тим самим мостовим краном із магнітним захватом, що забезпечує універсальність і

скорочення часу транспортування. Флюсові матеріали, які використовуються для рафінування металу, завантажуються окремо за допомогою мостового грейферного крана у спеціально призначені ємності, що забезпечує їх ізольоване зберігання та точність дозування.

У безпосередній близькості до плавильних печей розміщено бункерні установки для шихтових матеріалів і флюсів. Вони забезпечують накопичення необхідного запасу матеріалів для безперервної роботи плавильного відділення. Із бункерів металева шихта подається до вагових дозаторів, які забезпечують точне дозування компонентів відповідно до заданого складу завалки. Наявність системи зважування дозволяє контролювати масу шихти та забезпечує стабільність хімічного складу виплавленого металу.

Завантаження шихти у плавильні печі здійснюється мостовим краном вантажопідйомністю 15 т, який обладнаний магнітною шайбою для захоплення металевих матеріалів. Даний кран також використовується для обслуговування плавильного обладнання, виконання допоміжних операцій та транспортування рідкого металу до заливальної дільниці у спеціальних ковшах.

Ремонт та відновлення футеровки плавильних печей виконується із застосуванням вогнетривких матеріалів. Основна футеровка виконується з вогнетривкої цегли на спеціальному розчині, що забезпечує стійкість до високих температур і термічних навантажень. Шамотна футеровка містить 25–30 % вогнетривкої глини та 70–75 % подрібненого шамоту або кварцового піску, що забезпечує необхідні теплоізоляційні та механічні властивості. Подину печі формують методом набивання з використанням спеціальної формувальної суміші, що забезпечує щільність і стійкість робочої поверхні.

Після завершення ремонтних робіт футеровку піддають обов'язковому сушінню та термічній підготовці, що дозволяє видалити вологу та підвищити її експлуатаційну стійкість. Дільниця ремонту печей і ковшів розташовується безпосередньо біля плавильного відділення, що забезпечує зручний доступ до вогнетривких та футерувальних матеріалів, а також скорочує час виконання ремонтних операцій і простої обладнання.

Таблиця 1.6 – Розрахунок шихти для виплавки сталі 35Л

№ П/ П	Найменування матеріалу	ДСТУ, ГОСТ, ТУ	Марка	% в шихті	C		Si		Mn		S		P	
					В мат.	В шихті	В мат.	В шихті	В мат.	В шихті	В мат.	В шихті	В мат.	В шихті
1	Лом сталевий III с	Ст. 5сп	1А	5,8	0,32	0,019	0,25	0,015	0,65	0,038	0,04	0,002	0,035	0,002
2	Лом сталевий I с	Ст. 35	1А	56,78	0,35	0,175	0,36	0,180	0,65	0,325	0,04	0,020	0,035	0,018
3	Відходи власного виробництва	ГОСТ 977-88	35Л	37,22	0,36	0,158	0,36	0,158	0,65	0,286	0,045	0,020	0,04	0,018
4	Феросиліцій	ДСТУ 4127-02	Фс-45	0,0		0,000	25	0,000	0,7	0,000	0,04	0,000	0,05	0,000
5	Феромарганець	ДСТУ 3547-97	ФМн- 78	0,2	7	0,014	2	0,004	82	0,164	0,03	0,000	0,03	0,000
	Всього:			100		0,366		0,357		0,813		0,042		0,037
	Угар (-), пригар (+)				-10	-0,03659	5	0,018	-20	-0,163	0	0,000	0	0,000
	Розкислювач (алюміній)	ДСТУ 2839-94	AK5M2	0,20										
Кінцевий хім. склад						0,33		0,37		0,65		0,042		0,037
Необхідний хім. склад						0,32-0,40		0,20-0,52		0,45-0,90		до 0,06		до 0,06

1.3. Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм

Для виготовлення виливків у даному технологічному процесі використовується автоматична формувальна лінія моделі ІЛ-225 (рис. 1.1), технічні характеристики якої наведено в таблиці 1.7. Дане обладнання належить до комплексних автоматизованих систем формування та вибивання, призначених для серійного та масового виробництва литих заготовок із чавуну та сталі в разових піщаних формах.

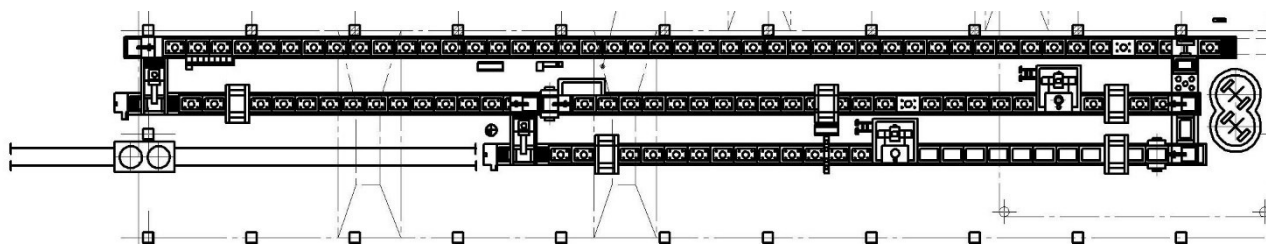


Рисунок 1.1 - Автоматична формувальна лінія моделі ІЛ 225

Лінія ІЛ-225 (рис.1.1) являє собою автоматизований комплекс, побудований на базі прохідних однопозиційних пневматичних важільно-пресових формувальних автоматів. Виробником даного обладнання є Івано-Франківський завод «Авто-литмаш». Крім базової моделі, розроблено також низку її модифікацій (понад 19 варіантів), які дозволяють адаптувати технологічну лінію до різних типів виливків і умов виробництва.

Загальна структура лінії забезпечує повний цикл виготовлення ливарних форм, починаючи від формування нижніх і верхніх напівформ і закінчуючи вибиванням відливків та регенерацією опок. До складу комплексу входять формувальні пневматичні автомати для виготовлення нижніх та верхніх напівформ, механізм утворення вентиляційних отворів, пристрої для кантування нижніх і верхніх напівформ, а також механізми для видалення надлишкової формувальної суміші.

Крім того, лінія оснащена складальним вузлом для форм, пристроями для укладання опок на підпочні плити, механізмами їх піднімання та опускання, а також системою механічного скріплення форм. Переміщення

напівформ та готових форм між окремими агрегатами здійснюється за допомогою роликів приводних конвеєрів, які одночасно виконують функцію буферних накопичувачів.

У складі лінії також передбачено механізми для видавлювання форм, інерційну вибивну решітку для відокремлення відливків від формувальної суміші, пристрої для розпарювання та кантування порожніх опок, а також обладнання для їх очищення перед повторним використанням.

Формування здійснюється методом верхнього пресування на пневматичних важільних формувальних автоматах. Для забезпечення рівномірної щільності формувальної суміші застосовується багатоплунжерна пресувальна головка у поєднанні з вібраційним ущільненням під час пресування, що дозволяє отримати однорідну структуру форми та стабільні геометричні параметри.

Роликові конвеєри, що з'єднують окремі агрегати лінії, виконують функцію проміжного накопичення і транспортування форм. Їх швидкість транспортування у 4–5 разів перевищує необхідну технологічну, що забезпечує оперативне переміщення опок, напівформ і готових форм між вузлами лінії та сприяє безперервності виробничого процесу.

Таблиця 1.7 – Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії моделі ІІ 225

Назва характеристики	Числове значення
Розміри опок /внутрішні/, мм	900 × 600 × 125-250
Продуктивність, форм/год	240
Маса відливки, кг	60
Кількість опок	100
Виграти повітря, м /год	110
Потужність, кВт	115
Маса, кг	220000
Габаритні розміри, мм	65200 × 9300 × 6855

Роликові конвеєри складаються з окремих уніфікованих секцій довжиною 4,5 і 6 м. Електропривод роликових конвеєрів складається з електродвигуна, черв'ячного редуктора і фрикційної муфти. На кожному валу на шпонках встановлено фрикційні диски, між якими за допомогою тарілчастих пружин затиснено приводні зірочки, що захищає привод від поломок.

1.4. Стержневе відділення

Проектування стержневого відділення передбачає вибір раціональної технології виготовлення стержнів, а також визначення необхідної кількості стержневого обладнання, сушильних установок і допоміжних механізмів відповідно до заданої виробничої програми цеху.

З урахуванням того, що маса стержнів за номенклатурою виробу не перевищує 10 кг, для їх виготовлення прийнято універсальний стержневий автомат моделі 4509С. Дане обладнання забезпечує високу продуктивність та стабільну якість виготовлення стержнів у серійному виробництві.

Виготовлення стержнів здійснюється у гарячих ящиках із застосуванням швидкотверднучих термореактивних формувальних сумішей. Така технологія дозволяє значно підвищити точність геометричних параметрів стержнів, що безпосередньо позитивно впливає на точність отримуваних виливків. У результаті зменшується потреба у збільшених ливарних припусках, що, своєю чергою, скорочує обсяг подальшої механічної обробки.

Крім того, використання гарячоящикової технології дозволяє відмовитися від металевих каркасів у конструкції стержнів та суттєво зменшити потребу в громіздкому сушильному обладнанні, яке займає значні виробничі площі. Це забезпечує підвищення ефективності використання виробничих площ і зростання продуктивності обладнання на одиницю площі. Технічні характеристики стержневого автомата наведено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Технічна характеристика піскострільного автомату моделі 4509С

Назва характеристики	Величина
Найбільша маса стержня, кг	10
Продуктивність, зйомів/год.	70...94
Розміри стержневого ящика, мм	800×630×450
Тривалість циклу, с	95
Ємність робочого резервуара, л	25
Потужність електродвигуна, кВт	140
Габарити, мм	3600×2600×3000
Маса, кг	13000

1.4.1. Устрій і робота стержневого відділення

Стержнева суміш, призначена для роботи на стержневих автоматах моделі 4509С, із сумішеприготувального відділення подається стрічковим конвеєром безпосередньо у витратні бункери, розташовані над стержневими автоматами. Така схема транспортування забезпечує безперервне живлення обладнання та стабільність технологічного процесу. На території ділянки також передбачено спеціально організовану зону для тимчасового зберігання стелажів із готовими стержнями, що дозволяє впорядкувати логістику внутрішньоцехових переміщень.

Технологічний процес виготовлення стержнів за гарячоящиковою технологією полягає у заповненні порожнини попередньо нагрітого стержневого ящика сумішшю, яка під дією температури протягом 15–60 секунд переходить у твердий стан. У результаті формується стержень, що не потребує додаткового сушіння, оскільки набирає достатню міцність безпосередньо в оснастці. Отримані стержні характеризуються високими показниками міцності, що забезпечує їхню безпечну транспортування, а також надійну установку у ливарну форму.

Особливістю даної технології є висока якість поверхні та точність

геометричних параметрів стержнів, що дозволяє зменшити ливарні припуски та знизити обсяг подальшої механічної обробки відливків.

Робота автомата організована за позиційним принципом. На першій позиції здійснюється притиск попередньо нагрітого стержневого ящика (з температурою 180–270 °С) до пісcomedної головки з одночасним заповненням його стержневою сумішшю. Друга позиція є резервною і використовується для переналагодження обладнання та заміни стержневих ящиків. На третій та четвертій позиціях відбувається процес твердіння суміші у нагрівальній камері. На восьмій позиції виконується розкриття ящика, вилучення готового стержня та продування внутрішньої порожнини стисненим повітрям для очищення.

Для забезпечення стабільної роботи оснастки та підвищення якості поверхні ящиків машина оснащена системою рухомих форсунок. Під час прямого ходу вони виконують обдування робочих поверхонь стисненим повітрям, а під час зворотного руху — наносять роздільний склад, що запобігає прилипанню суміші та підвищує довговічність стержневої оснастки.

1.5. Сумішоприготувальне відділення

Проектування сумішеприготувального відділення базується на визначенні потреб формувального та стержневого відділень у формувальних і стержневих сумішах відповідно до заданої виробничої програми цеху. Такий підхід дозволяє забезпечити безперервне постачання необхідних матеріалів і стабільність технологічного процесу лиття.

Річна потреба у формувальних сумішах для умов масового та крупносерійного виробництва визначається на основі загальної кількості виготовлюваних форм для всієї номенклатури виливків. При цьому враховується геометрія форм, а також виключається об'єм, який займають самі виливки, ливниково-живильна система та стержні. Це дає змогу отримати більш точну оцінку фактичної витрати формувального матеріалу.

Витрата стержневих сумішей визначається за технологічною відомістю потреби у стержнях на задану виробничу програму з подальшим розподілом за

видами сумішей, що використовуються у виробництві.

1.5.1. Вибір формувальної та стержневої суміші

Формувальні суміші класифікують за кількома основними ознаками. За призначенням вони поділяються на суміші для лиття чавуну, сталі та кольорових сплавів. За технологією застосування у процесі формування розрізняють єдині, облицювальні та наповнювальні суміші. Залежно від стану форми перед заливанням металу вони поділяються на суміші для сирих, підсушених, сухих та хімічно-твердіючих форм.

Для виготовлення ливарних форм на автоматичній формувальній лінії прийнято використання єдиної піщано-глинистої формувальної суміші, яка забезпечує стабільні технологічні властивості, достатню міцність форм та необхідну газопроникність. Основні характеристики обраної суміші наведено в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Склад і фізико-механічні властивості формувальної суміші

Складова суміші і параметри	Значення параметру
Зворотня суміш, %	96
Пісок кварцевий КО2, КО16, %	3
Вугілля гранульоване, %	0,15
Бентоніт, %	0,15
Вода, %	до вологості 3,0 - 4,0
Вміст глиняної складової, %	11
Вміст активного бентоніту, %	8
Втрати при прожарюванні %	3
Вологість, %	3,5
Міцність на стиснення у сирому стані, МПа	0,12 - 0,15
Газопроникність, одиниць	80
Плинність (по Орлову), одиниць	80

До стержневих сумішей висуваються підвищені вимоги порівняно з формувальними матеріалами, зокрема щодо міцності, податливості, газопроникності та вогнетривкості. Це зумовлено умовами роботи стержнів у формі, де вони зазнають термічного та механічного впливу розплавленого металу.

Приготування стержневих сумішей, як правило, здійснюють із використанням свіжих формувальних матеріалів, що забезпечує стабільність їхніх властивостей та високу якість готових стержнів. У деяких випадках допускається введення незначної кількості оборотної суміші для економії матеріалів без суттєвого погіршення технологічних характеристик.

Для виготовлення стержнів на автоматі моделі 4509С застосовується стержнева суміш, склад і основні властивості якої наведено в таблиці 1.10.

Таблиця 1.10 – Склад стержневої суміші і фізико-хімічні властивості

Складові суміші і властивості	Значення параметра
Пісок кварцевий, %	95,24
Смола СФ, %	3,54
Каталізатори М1, %	0,7
Гас, %	0,52
Керосин освітлювальний, %	0,62
Газопроникність, одиниць	80
Міцність на стиснення у сирому стані, МПа	0,005 - 0,01
Вологість, %	1,8-2,8

1.5.2. Вибір обладнання для приготування формувальної і стержневої суміші

Для приготування формувальної суміші в умовах ливарного виробництва прийнято використання ливарного змішувача типу бігунів періодичної дії з вертикальними котками моделі 15104. Дане обладнання забезпечує ефективне перемішування компонентів формувальної суміші, рівномірний розподіл

зв'язувальних матеріалів і стабілізацію фізико-механічних властивостей готової суміші.

Застосування бігунів періодичної дії дозволяє отримувати однорідну структуру формувальної маси, що позитивно впливає на якість виготовлених ливарних форм, їх міцність, газопроникність та стабільність геометричних параметрів. Вертикальне розташування котків сприяє інтенсивному ущільненню та перемішуванню суміші в процесі приготування. Технічні характеристики ливарних бігунів моделі 15104 наведено в табл. 1.11.

Таблиця 1.11 – Технічна характеристика змішувача моделі 15104

Назва характеристики	Величина
Об'єм замісу, т	2,0
Продуктивність, м ³ /год	40...60
Розміри чаші, м – висота × внутрішній діаметр	1130 × 2540 ± 13,5
Кількість котків, шт	2
Частота обертання вертикального вала, об/хв	29±3
Продуктивність витяжної вентиляції, м ³ /год	6000
Габаритні розміри, мм:	3850×3150×3250
Маса змішувача, кг	11000

Для приготування стержневої суміші приймаємо змішувач ливарний типу бігунів моделі 15101, технічна характеристика якого наведена в табл. 1.12.

Таблиця 1.12 – Технічна характеристика бігунів моделі 15101

Назва характеристики	Величина
Місткість замісу, м ³	0,3
Час перемішування, хв	15
Продуктивність, м ³ /год	1,5
Потужність, кВт	15
Габарити, мм	2000×1865×2895
Маса, кг	4000

1.5.3 Устрій і робота сумішоприготувального відділення.

Сумішоприготувальне відділення розміщується безпосередньо поблизу формувальної та стержневої діляниць, що забезпечує мінімальні транспортні витрати та безперервність подачі матеріалів у виробничий процес. Усі змішувальні агрегати оснащені бункерними системами для зберігання та дозування як сипких, так і рідких компонентів формувальних і стержневих сумішей.

Подача основних матеріалів у відділення здійснюється за допомогою стрічкових конвеєрів, що забезпечує стабільний і рівномірний потік сировини. Відпрацьована формувальна суміш, яка надходить із-під вибивної решітки автоматичної формувальної лінії, транспортується конвеєрною системою разом із просипом від формувальних машин. Далі вона проходить стадії первинної підготовки, зокрема очищення на барабанному решеті, де відбувається відсівання великих включень і сторонніх домішок.

Після механічного очищення суміш піддається електромагнітній сепарації для видалення металевих включень. Далі вона охолоджується до температури $T = 38-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ і одночасно зволожується до необхідних технологічних параметрів, після чого надходить у змішувач для повторного використання у приготуванні формувальних сумішей. Така система регенерації дозволяє зменшити витрати свіжих матеріалів і підвищити економічну ефективність виробництва.

Стержнева суміш готується на основі сухого кварцового піску з додаванням термореактивного зв'язувального матеріалу, каталізатора та невеликої кількості спеціальних добавок, що покращують технологічні властивості суміші. Як зв'язуючу основу використовують карбамідно-фуранові смоли, які є продуктом взаємодії карбамідної смоли з різною часткою фурилового спирту, що забезпечує високу міцність і стабільність стержнів після твердіння.

Каталізатори, представлені розчинами мінеральних або органічних кислот і їх солей, значно прискорюють процес твердіння суміші, особливо при підвищених температурах. Це дозволяє скоротити тривалість технологічного циклу виготовлення стержнів.

Як функціональні добавки застосовують оксид заліза, графіт, стеарат кальцію та рідке скло. Оксид заліза підвищує теплопровідність суміші, графіт виконує роль вогнетривкого наповнювача та покращує антиадгезійні властивості, а інші добавки сприяють зменшенню прилипання суміші до оснастки та покращують її текучість і формувальні властивості.

1.6. Очисне відділення

Серед загальних витрат праці у процесі виготовлення виливків значну частку займають очисні операції, які можуть досягати до 40% від загальної трудомісткості. При цьому саме в очисних відділеннях найбільшою мірою застосовується ручна праця, що зумовлено різноманітністю операцій та необхідністю індивідуальної обробки виливків.

В умовах очисного відділення виконуються основні технологічні операції, пов'язані з доведенням виливків до заданого стану. До них належать видалення стержнів, відокремлення ливниково-живильної системи, а також зачистка та обрубка залишків металу і поверхневих дефектів. Усі ці операції спрямовані на отримання готового виробу, що відповідає вимогам креслення та технічних умов.

Крім основних технологічних операцій, у структурі відділення передбачаються робочі місця для остаточного контролю якості виливків, їх комплектування та подальшого транспортування на склад або до наступних етапів обробки. Це дозволяє забезпечити безперервність виробничого процесу та підвищити ефективність логістики в межах цеху.

Для очищення та одночасного охолодження виливків зі сталі 35Л прийнято використання галтовочного барабана безперервної дії моделі ОБ-90. Дане

обладнання забезпечує ефективне видалення залишків формувальної суміші та дрібних забруднень з поверхні виливків, а також сприяє їх рівномірному охолодженню після виливання. Технічні характеристики галтовочного барабана наведено в таблиці 1.13.

Таблиця 1.13

Технічна характеристика галтовочного барабана моделі ОБ-90

Назва характеристики	Величина
Продуктивність, т/год	3,5
Об'єм завантаження, м ³	1,8
Габаритні розміри, мм	3500×1650×1500
Маса, т	3,9
Потужність електродвигуна, кВт	7,5

Додатково для підвищення якості поверхні виливків та видалення залишків формувальної суміші застосовується дробометна камера моделі 86414. Використання даного обладнання дозволяє ефективно очищати поверхню виливків від пригару, окалини та інших технологічних забруднень, що утворюються в процесі лиття.

Дробометна обробка забезпечує не лише очищення поверхні, а й певне зміцнення поверхневого шару вилівка за рахунок наклепу, що позитивно впливає на експлуатаційні властивості виробів зі сталі 35Л. Застосування дробометної камери є важливим етапом у комплексі очисних операцій, оскільки дозволяє отримати стабільну якість поверхні перед подальшим контролем або механічною обробкою.

Технічні характеристики дробометної камери моделі 86414 наведено в таблиці 1.14.

Таблиця 1.14 – Технічна характеристика дробометної камери

Продуктивність камери, т/год	10
Максимальна вага відливок	12
Дробометний апарат	
Число обертів за хвилину	2500
Діаметр дробу, мм	1,5 : 2,0
Електродвигун А02-62-4	
Потужність, кВт	17
Число обертів за хвилину	1450
Ремінна передача, 5-ти струмкова	$i = 175$
Елеватор	
Швидкість руху стрічки, м/хв.	75,8
Виробництво, т/год	24,0
Крок ковшів, мм	300
Об'єм ковша, м ³	0,003
Стрічка:	
Ширина, мм	160
Довжина, мм	15000
Електродвигун А02-21-4	
Потужність, кВт	2,8
Кількість обертів за хвилину	1440
Редуктор РМ-250	$i = 23,34$
Сито просіву дробу	
Кількість обертань барабану сита за хвилину	30
Електродвигун А02-21-4	
Потужність, кВт	1,1
Кількість обертань за хвилину	1400
Редуктор РМ250	$i = 31,5$

Крок шнека, мм	250
Конвеєр підвісний цепний	
Швидкість конвеєра, м/хв.	1
Розгорнута довжина траси, м	199,5
Шаг підвісок, мм	800
Кількість підвісок	249
Електродвигун А02-32-4	
Потужність, кВт	3
Кількість обертань за хвилину	1430
Редуктор РМ350	$i = 31,5$

Для відокремлення ливниково-живильної системи від готових виливків у технологічному процесі застосовуються відрізні верстати з дисковими пилами моделі 3E184B. Використання даного обладнання забезпечує точне та швидке різання металевих елементів литникової системи з мінімальними втратами матеріалу та без значного пошкодження поверхні виливка.

Верстати даного типу характеризуються високою продуктивністю, достатньою жорсткістю конструкції та стабільністю роботи при різанні виливків зі сталі. Застосування дискових пил дозволяє отримувати чистий різ, що зменшує обсяг подальших обробних операцій, зокрема зачистки та шліфування місць відрізання.

Технічна характеристика відрізних верстатів моделі 3E184B наведена в таблиці 1.15.

Для виконання операцій остаточної зачистки поверхні виливків у технологічному процесі застосовуються зачисні верстати моделі 3M363. Використання даного обладнання забезпечує ефективне видалення залишків ливниково-живильної системи, обробку місць різку після відрізання, а також усунення поверхневих нерівностей та дрібних дефектів лиття.

Зачисні верстати даної моделі характеризуються достатньою потужністю та жорсткістю конструкції, що дозволяє обробляти сталеві виливки різної маси та конфігурації. Застосування абразивного інструменту забезпечує якісну обробку поверхні та підготовку виливків до подальших операцій контролю або механічної обробки.

Технічні характеристики зачисних верстатів моделі 3М363 наведено в таблиці 1.16.

Таблиця 1.15 – Технічна характеристика відрізних верстатів з дисковими пилами для відрізання ливників мод. 3Е184В

Назва характеристики	Величина
Діаметр диска, мм	400
Продуктивність, т/год	0,5 - 0,6
Частота обертання шпинделя, об/хв	1955 - 3425
Габаритні розміри, мм	1640x1580x1700
Потужність електродвигуна, кВт	6,6

Таблиця 1.16 – Технічна характеристика зачисного станка моделі 3М363

Назва характеристики	Величина
Зернистість	80 - 125
Продуктивність, т/год	0,5 - 0,6
Частота обертання шпинделя, об/хв	955 - 1425
Потужність електродвигуна, кВт	7,5

1.7. Склади і допоміжні відділення ливарного цеху

У ливарних цехах застосовується широкий спектр матеріалів, що використовуються для виготовлення ливарних форм, стержнів, а також для отримання та обробки рідкого металу. Відповідно до проектних рішень, необхідний запас таких матеріалів для забезпечення безперервної роботи виробництва зосереджується на складах цеху, які, як правило, розташовуються у

прольотах, що безпосередньо примикають до плавильного та сумішоприготувального відділень. Таке розміщення дозволяє мінімізувати транспортні витрати та скоротити час подачі матеріалів у виробничий процес.

Окрім основних складських приміщень, у структурі ливарного цеху передбачаються спеціалізовані склади для зберігання модельно-ливарного оснащення, стержнів та готових виливків. Це забезпечує впорядковану організацію виробничих потоків та підвищує ефективність внутрішньоцехової логістики.

Також у складі ливарного цеху обов'язково проектується комори та лабораторії різного призначення, а також комплекс допоміжних виробничих дільниць. До них належать підрозділи, що забезпечують ремонт і обслуговування обладнання, підготовку шихтових матеріалів, регенерацію відпрацьованих сумішей та інші допоміжні процеси, необхідні для стабільного функціонування основного виробництва.

До основних допоміжних підрозділів ливарного цеху належать ковшове відділення, у якому здійснюється поточний ремонт і підготовка ковшів до роботи; модельно-ремонтна майстерня, що забезпечує справний стан модельного оснащення; цехові комори для зберігання допоміжних матеріалів, інструментів та витратних засобів; а також лабораторії (земельна, хімічна та інші), які здійснюють контроль властивостей матеріалів і технологічних процесів.

Крім того, у складі цеху функціонують ремонтно-механічна майстерня, що виконує поточний і середній ремонт обладнання; санітарно-технічна дільниця, яка забезпечує справність систем водопостачання, каналізації, опалення та вентиляції; електромеханічна (електроремонтна) майстерня, що відповідає за обслуговування електрообладнання та освітлювальних систем; а також дільниця регенерації формувальних сумішей, яка забезпечує їх повторне використання та зменшення витрат матеріалів.

2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА

2.1. Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок

Виливок відноситься до X класу точності згідно з ГОСТ 26645–85 та виготовляється зі сталі 35Л відповідно до ДСТУ 8781:2018. До основних вимог до точності геометричних параметрів належать: різностінність не більше 3 мм, короблення — до 2 мм, а перекіс по лінії роз'єму — не більше 2 мм.

Для якості поверхні встановлено такі допустимі дефекти. На оброблюваних поверхнях допускаються поодинокі раковини розміром до 5 мм і глибиною до 2 мм у кількості не більше 5 шт. На необроблюваних поверхнях допускаються раковини розміром до 1,5 мм і глибиною до 1 мм у кількості до 5 шт. на один виливок. Також допускаються нарости висотою до 1,5 мм площею не більше 6 см² у кількості до 3 шт. на поверхні, а також пригар у важкодоступних для очищення зонах. Заливи по лінії роз'єму та в місцях стику стержнів допускаються лише у важкодоступних ділянках. Виявлені дефекти можуть бути усунені методом зварювання з подальшою механічною обробкою та зачисткою. Усадкова пористість у кутових зонах допускається не більше 2 мм. У місцях спряження стержня та форми можливе утворення кільцевих заусенців довжиною до 1,5 мм.

Деталь «Важіль» є елементом механізму, призначеного для транспортування та переміщення важких вантажів. Маса виливка становить 2,1 кг, а габаритні розміри — 292,3 × 84 × 50 мм. Твердість матеріалу знаходиться в межах 131–157 НВ.

До оброблюваних поверхонь належать посадкові місця під вал. Інші поверхні виливка, включаючи торцеві поверхні циліндричних елементів, механічній обробці не підлягають. Конструкція деталі є технологічною: зовнішні контури виконані з плавними переходами між прямолінійними ділянками, що сприяє рівномірній усадці металу під час кристалізації та зменшенню залишкових напружень у зонах спряження.

Конструкція передбачає наявність двох отворів, при цьому один із них формується за допомогою стержня, а другий виконується механічною обробкою після лиття. Знімні елементи у конструкції відсутні, роз'єм ливарної моделі та форми — один..

2.2 Розроблення модельно-ливарних вказівок для виготовлення виливка

2.2.1. Визначення положення виливка у формі. Положення виливка під час заливання приймається горизонтальним. Таке розташування обумовлене необхідністю забезпечення високої якості оброблюваних поверхонь, зокрема посадкових місць під вал. Горизонтальне розміщення цих елементів сприяє зменшенню ймовірності утворення усадкових раковин, газових дефектів, забруднень та зон рихлості металу.

Площина роз'єму моделі та форми також приймається горизонтальною і є єдиною для даного виливка, що створює сприятливі умови для використання машинного формування. Конструкція роз'єму вибрана таким чином, щоб модель не мала знімних частин, а сам виливок розташовувався симетрично відносно верхньої та нижньої напівформ.

Обране розташування забезпечує якісне ущільнення формувальної суміші, спрощує складання форми, підвищує надійність установа стержнів, полегшує контроль геометричних параметрів та створює умови для безперешкодного виймання моделі.

2.2.2 Призначення припусків на механічну обробку та усадку, вибір галтелей, формувальних ухилів і стержневих знаків. Габаритні розміри виливка відрізняються від розмірів готової деталі на величину припусків, необхідних для подальшої механічної обробки. Значення припусків для сталі 35Л приймаються відповідно до вимог ГОСТ 26645-85. На кресленні межі припусків позначаються тонкими лініями (лист БР-131.26.15.01.00.00). Для даного виробу припуск на обробку отвору становить 3 мм, а для торцевих поверхонь – 4 мм.

Для компенсації усадки металу під час охолодження передбачаються усадкові припуски, величина яких визначається у відсотках від розмірів виливка. Для сталі 35Л значення лінійної усадки приймається за довідковими даними. Для виливків середніх розмірів вільна усадка становить 2 %.

З метою зниження концентрації напружень та покращення умов заповнення форми передбачаються заокруглення в місцях сполучення стінок. Радіуси галтелей вибираються в межах від $1/5$ до $1/3$ середньої товщини суміжних стінок. Для даної конструкції прийнято радіус заокруглення 5 мм. Мінімально допустимі значення визначаються згідно з нормативними рекомендаціями.

Усі необхідні радіуси зазначаються на кресленні виливка, а ті, що не нанесені безпосередньо на кресленні, наводяться у технічних вимогах.

Формувальні ухили призначаються залежно від габаритів виливка та технології виготовлення форми і стержнів відповідно до вимог ГОСТ 3212-57. Для даного виливка прийнято ухил 3° . Указані на кресленні значення доповнюються загальними вимогами, наведеними в технічній документації.

Розміри стержнів визначаються з урахуванням припусків на механічну обробку та усадку металу. Конструкцію і розміри стержневих знаків приймають згідно з ГОСТ 3606-57. Для формування отворів використовуються горизонтальні стержневі знаки довжиною 25 мм, що відповідає співвідношенню довжини отвору до його номінального діаметра.

Зазори між стержневими знаками та формою встановлюються залежно від найбільшого розміру стержня. Для горизонтальних знаків прийнято боковий зазор 0,25 мм і торцевий зазор 0,15 мм.

2.3. Розрахунок та конструювання ливникової системи

2.3.1. Визначення габаритних розмірів опоки. Розміри опоки визначаються геометрією виливка, кількістю моделей, що розміщуються в одній

формі, параметрами ливникової системи та схемою їх розташування на підмодельній плиті.

Ефективність компоновання моделей оцінюється коефіцієнтом металоемності, який являє собою відношення маси металу у формі до маси формувальної та стержневої суміші. Значення цього коефіцієнта залежить від складності конфігурації виливка, його габаритів і товщини стінок та зазвичай знаходиться в межах 0,25–1,2.

Відстань між сусідніми моделями визначається їх висотою у верхній та нижній напівформах. При виготовленні декількох виливків в одній опоці та використанні спільної ливникової системи проміжок між ними по площині роз'єму повинен становити не менше 20–25 мм.

Відстань від контуру виливка до стінок опоки приймається в межах 50–100 мм, а від стержневих знаків до бокових стінок — від 0 до 50 мм. Відстань від моделі до верхньої та нижньої поверхонь форми становить 60–120 мм.

Для виготовлення виливка передбачено використання автоматичної формувальної лінії ІЛ-225 виробництва Івано-Франківського заводу «Авто-Літмаш». З урахуванням розмірів опоки 900×600×150 мм в одній формі розміщується чотири виливки.

2.3.2. Визначення оптимальної тривалості заливки. Ливникова система являє собою комплекс взаємопов'язаних каналів, призначених для транспортування рідкого металу від ливникової чаші до порожнини форми. Її конструкція повинна забезпечувати рівномірне та безперервне заповнення форми, мінімізувати турбулентність потоку й запобігати потраплянню неметалевих включень у виливок.

Оптимальна тривалість заливки визначається за формулою [1]:

$$t = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot G}, \quad (2.1)$$

де S_1 – коефіцієнт, $S_1 = 1,35$ [4];

δ – середня товщина стінок виливка, $\delta = 14$ мм;

G – маса металу, що припадає на один виливок, кг

$$G = (G_g + G_g \cdot 0,5) \cdot n, \text{ кг}, \quad (2.2)$$

де G_g - маса одного виливка, кг;

n – кількість виливків у формі, шт.

$$G = (2,1 + 2,1 \cdot 0,5) \cdot 4 = 12,6 \text{ кг.}$$

Тоді:

$$t = 1,35 \cdot \sqrt[3]{12,6 \div 4 \cdot 14} = 4,8 \text{ сек}$$

Середня швидкість рівня підйому металу у формі:

$$V = \frac{C}{t}, \quad (2.3)$$

де C – висота виливка, мм;

t – оптимальна тривалість заливки, сек.

$$V = \frac{125}{4,8} = 26,2 \text{ мм / сек.}$$

Оптимальна тривалість заливки забезпечує необхідну швидкість підйому рідкого металу у формі [2].

2.3.3. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи. Загальна площа живильників на один виливок:

$$F_{жс} = \frac{G \cdot 1000}{\mu \cdot t \cdot \rho \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_p}}, \text{ см}^2 \quad (2.4)$$

де G – маса металу, що припадає на один виліток, кг;

$\rho = 7,6 \text{ г/см}^3$ – густина рідкого металу;

μ – коефіцієнт витрат металу, $\mu = 0,49$ [1];

g – прискорення вільного падіння, см/сек^2 ;

H_p – середній метало статичний тиск, м.

Металоемність форми:

$$G = (G_g + G_g \cdot 0,5), \text{ кг},$$

де G_g - маса одного вилівка, кг;

Тоді:

$$G = (2,1 + 2,1 \cdot 0,5) = 3,15 \text{ кг}.$$

Середній метало статичний тиск визначаємо за формулою:

$$H_p = H_0 - \frac{p^2}{2c}; \quad (2.5)$$

де H_0 – висота металу в чаші, $H_0 = 15 \text{ см}$;

p – висота вилівка над рівнем підйому металу, $p = 10 \text{ см}$;

c – загальна висота вилівка, $c = 12,5 \text{ см}$.

$$H_p = 15 - \frac{10^2}{2 \cdot 12,5} = 11 \text{ см}$$

$$F_{\text{жс}} = \frac{3,15 \cdot 1000}{0,49 \cdot 4,8 \cdot 7,6 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 11}} = 1,21 \text{ см}^2$$

Так як виліток має два живильника, то:

$$F_{жс} = \frac{F_{жс}}{2} = 0,605 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу живильника трапецію (лист БР-131.26.15.01.00.00).

Уточнюємо площу перерізу живильника з урахуванням прийнятих розмірів:

$$F_{жс} = \frac{(a+b)}{2} h = \frac{(1+1,2)}{2} \cdot 0,55 = 0,605 \text{ см}^2$$

Тоді:

$$\sum F_{жс} = F_{жс} \cdot n = 0,605 \cdot 8 = 4,84 \text{ см}^2$$

Розраховуємо площу шлаковловлювача:

$$\sum F_{жс} : \sum F_{ш} : \sum F_{см} = 1 : 1,15 : 1,2 \quad (2.6)$$

$$\sum F_{ш} = \sum F_{жс} \cdot 1,15 = 4,84 \cdot 1,15 = 5,55 \text{ см}^2$$

Так як форма має два шлаковловлювачі, то:

$$F_{ш} = \frac{\sum F_{ш}}{2} = 2,78 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу шлаковловлювача трапецію (лист БР-131.26.15.01.00.00).

Уточнюємо площу перерізу живильника з урахуванням прийнятих розмірів:

$$F_{ш} = \frac{(a+b)}{2} h = \frac{(1,1+1,4)}{2} \cdot 2,3 = 2,88 \text{ см}^2$$

Тоді:

$$\sum F_{шс} = F_{шс} \cdot n = 2,88 \cdot 2 = 5,76 \text{ см}^2$$

Площа поперечного перерізу стояка:

$$F_{cm} = \sum F_{жс} \cdot 1,2 \quad (2.7)$$

$$F_{cm} = 4,84 \cdot 1,2 = 5,81 \text{ см}^2$$

Оскільки:

$$F_{cm} = \frac{\pi \cdot d_{cm}^2}{4} \quad (2.8)$$

Діаметр стояка:

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{cm}}{\pi}} \quad (2.9)$$

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,81}{3,14}} = 2,72 \text{ см}$$

Приймаємо $d = 28$ мм.

Із технологічних міркувань приймаємо $d = 30$ мм.

Визначимо діаметр чаші для одного виливка:

$$D = (2,7 \dots 3) \cdot d_{cm.в} \quad (2.10)$$

$$D = 2,7 \dots 3 \cdot 30 = 81 \dots 90 \text{ мм}$$

Діаметр підживлювача визначаємо за формулою:

$$D_{підж} = (0,4 \dots 0,5) \cdot \sqrt{V_y} + \delta \quad (2.11)$$

$$D_{підж} = 0,4 \cdot \sqrt{56,25} + 2 = 5 \text{ см},$$

де V_y – об'єм усадкової раковини термічного вузла, см^3 .

Приймаємо висоту підживлювача рівною 10 см.

Оскільки виливок має два потовщених місця приблизно однакового розміру, які є термічними вузлами, то, відповідно, використовуємо два підживлювача на кожен виливок.

2.4. Технологічний процес виготовлення виливка

2.4.1 Формування ливарних напівформ. Основна частина ливарних форм виготовляється методом машинного формування. Використання формувальних машин дозволяє механізувати найбільш трудомісткі операції, зокрема ущільнення формувальної суміші та видалення моделі з форми.

Формувальна суміш подається з бункерів, розташованих над формувальними машинами. Порожні опоки транспортуються до робочих позицій рольгангами. Виготовлення верхньої та нижньої напівформ здійснюється на окремих формувальних установках.

Після встановлення опоки в робочу зону дозувальний пристрій заповнює її формувальною сумішшю. Далі проводиться ущільнення суміші, кантування напівформи, видалення надлишків матеріалу та очищення поверхні форми стисненим повітрям. Підготовлені напівформи направляються на ділянку складання.

2.4.2 Складання форм. Якість складання безпосередньо впливає на точність геометричних параметрів майбутнього виливка. До основних операцій належать: встановлення та закріплення стержнів у формі; складання верхньої та нижньої напівформ; суміщення і спарювання опок; перевірка правильності збирання перед заливанням металу.

2.4.3 Заливання форм металом. Температура рідкої сталі під час заливання повинна знаходитися в межах 1490–1550 °С. Заповнення форм може здійснюватися як на нерухомих, так і на транспортованих формах.

Після виплавки метал надходить із плавильної печі в попередньо підігрітий барабанний ківш місткістю 1 т. Транспортування ковша до місця розливання здійснюється мостовим краном. Далі метал переливають у розливні ковші чайникового типу місткістю 250 кг.

Перед початком заливання з поверхні металу обов'язково видаляють шлак. Розливний ківш встановлюють над ливниковою чашею на висоті 150–200 мм. На початку процесу чашу швидко заповнюють металом і підтримують її

заповненою протягом усього часу заливання. Переповнення чаші не допускається, а максимальний недолив не повинен перевищувати 20 мм.

Заливання виконується безперервним потоком, що забезпечує рівномірне заповнення форми та знижує ризик виникнення дефектів. Після завершення операції залишки металу зливають у спеціальні приймальні форми. Тип плавильного обладнання обирається з урахуванням марки сплаву та вимог до якості готових виливків.

2.4.4 Вибивання, очищення та обрубкування виливків. Після охолодження форми надходять на вибивну установку. Під дією вібрації формувальна суміш руйнується та просипається крізь отвори решітки для подальшої регенерації й повторного використання.

Виливки потрапляють на пластинчастий конвеєр, де продовжують охолоджуватися. Після цього вони направляються в галтувальний барабан, де відбувається остаточне відділення залишків формувальної суміші та очищення поверхні.

Для видалення пригару та окалини виливки обробляють у дробометній камері. Далі вони надходять на контрольну дільницю, де виконують проміжний та остаточний контроль якості. Перевіряються хімічний склад металу, структура, геометричні параметри та стан поверхні. Виявлення зовнішніх дефектів здійснюється візуальним методом.

Після контролю виливки направляються на відрізання елементів ливниково-живильної системи за допомогою дискових пил. Завершальною операцією є зачищення місць різання та видалення задирок на шліфувальному обладнанні.

2.5 Проектування ливарної оснастки

У великосерійному та масовому виробництві для підвищення довговічності оснащення застосовують металеві моделі. Заготовки моделей виготовляють литтям у піщані форми за дерев'яними промоделями. При

проектуванні промоделей враховують усадку матеріалу моделі, а також припуски на механічну обробку як самої моделі, так і виливка.

Для виготовлення моделі використовується сірий чавун марки СЧ20. Після лиття модель піддається механічній обробці на верстатах із числовим програмним керуванням. Припуск на механічну обробку становить 3,5 мм.

Товщина стінок моделі визначається за нормативними номограмами залежно від її габаритних розмірів. Через відносно невеликі розміри виливка модель виконується суцільною.

Після механічної обробки напівмоделі монтують на підмодельні плити. Під час компонування враховують внутрішні розміри опоки, які становлять 900×600 мм. Розташування моделей на плиті вибирають таким чином, щоб відстань від крайніх елементів до меж плити була не меншою за 300 мм.

Монтаж елементів ливникової системи виконується відповідно до її креслення. Усі деталі закріплюються за допомогою гвинтових з'єднань. Для забезпечення точності встановлення використовується монтажний шаблон із листової сталі товщиною 2–5 мм.

Підмодельні плити виготовляються з чавуну. Їх товщина становить 50 мм, що забезпечує достатню жорсткість при роботі на формувальному обладнанні. Робочі поверхні плит піддаються механічній обробці. Після розмітки та свердління монтажних отворів напівмоделі встановлюються і закріплюються на плитах. Після цього монтуються елементи ливникової системи, живильники та шлаковловлювачі.

Для точного суміщення плит з опоками передбачаються центрувальні та напрямні елементи. Кріплення плит на формувальній машині здійснюється болтовими з'єднаннями.

Для виготовлення стержнів методом піскострільного формування застосовується алюмінієвий стержневий ящик. Його заготовку отримують литтям у піщані форми за дерев'яними моделями.

При проектуванні ящика враховують ливарну усадку алюмінієвого сплаву, яка становить 1,25 %, а також припуск на механічну обробку величиною 0,4 мм.

Товщина стінок алюмінієвого стержневого ящика приймається рівною 10 мм. За нормативними таблицями визначаються також параметри ребер жорсткості та галтелей. Для даної конструкції товщина ребер становить 10 мм, а радіус заокруглень — 5 мм.

Після лиття та механічної обробки площини роз'єму шліфуються для забезпечення щільного прилягання половин ящика. З'єднання половин здійснюється за допомогою напрямних штирів.

Для відведення повітря під час виготовлення стержнів у конструкції передбачаються вентиляційні отвори. При використанні вдувного отвору діаметром 31 мм необхідно встановити вісім вентиляційних каналів діаметром 6 мм. Для підвищення ефективності вентиляції застосовуються щілинні вентиляційні прорізи.

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.

Контролю підлягають хімічний склад сплаву, структура металу, геометричні розміри, механічні властивості та наявність дефектів. Зовнішні дефекти, такі як тріщини, раковини, пригар або інші пошкодження поверхні, визначаються візуальним оглядом із порівнянням з еталонними зразками.

Для виявлення прихованих дефектів застосовуються методи неруйнівного контролю, зокрема магнітна та світлова дефектоскопія, що дозволяють оцінити якість виливків без їх руйнування.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти виконано розробку технології виготовлення виливка «Важіль СУС» методом лиття в піщано-глинисті форми. У процесі виконання роботи вирішено низку інженерно-технологічних завдань, спрямованих на забезпечення отримання якісних виливків із заданими експлуатаційними характеристиками та раціональною організацією виробничого процесу.

У першому розділі наведено обґрунтування вибору ливарної сталі 35Л як матеріалу виливка, проаналізовано її хімічний склад, механічні характеристики та ливарні властивості. Для виплавлення металу обрано електродугову піч ДСП-12. Розрахунок шихтових матеріалів виконано методом підбору компонентів. Як основне формувальне обладнання прийнято автоматичну ливарну лінію ІЛ225, для якої розглянуто конструкцію, принцип роботи та технічні можливості. Також вибрано обладнання для приготування формувальних і стержневих сумішей та наведено характеристику обладнання очисного відділення.

У другому розділі здійснено аналіз конструкції деталі «Важіль СУС» та вимог до якості готового виливка. На підставі проведеного аналізу розроблено модельно-ливарні вказівки, призначено припуски, ухили та інші технологічні параметри. Виконано розрахунок і конструювання ливниково-живильної системи, що забезпечує надійне заповнення форми та отримання якісного виливка. Також детально розглянуто технологічний процес виготовлення виливка і наведено основні положення щодо проєктування модельної оснастки та стержневих ящиків.

Результатом виконаної роботи стало розроблення комплекту технологічної документації, до складу якого входять креслення виливка з модельно-ливарними вказівками та складальне креслення ливарної форми. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані для організації серійного виробництва виливка «Важіль СУС» із забезпеченням необхідних показників якості та економічної ефективності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тітов Н.Д., Степанов Ю.А. Технологія ливарного виробництва: Підручник для машинобудівних технікумів. 2-ге вид. Перероб. - М.: Машинобудування, 1978. 432 с., Іл.
2. Сумцов В.П. Устаткування ливарних цехів. - К.: ІСДО, 1993. - 552 с.
3. Москальов І.Н. Ліварні сплави та їх плавка: Навчальний посібник. - К.: НМК ВО, 1993. - 368 с.
4. Ливниково-живильні системи. Конструювання та розрахунок ливникових систем. Навчальний посібник/Л.А. Большаков. - Маріуполь: ПДТУ, 2007. - 125 с.
5. Сафронов В.Я. Довідник з ливарного обладнання. - М.: Машинобудування, 1985, - 320 с., іл.
6. Леві Л.І. Основи теорії металургійних процесів та технології плавки ливарних сплавів. -М: Машинобудування, 1970. -172 с.
7. Анісімов Н.Ф. Проектування ливарних деталей / Н.Ф. Анісімов., Б.М. Благів. - М.: Машинобудування, 1967. - 277 с.
8. Воздвиженський В.М. Контроль якості виливків / Воздвиженський В.М., Жуков А.А., Бастраков В.К. - М.: Машинобудування, 1990. - 240 с.
9. Дубицький Г.М. Ливникові системи / Дубицький Г.М. - М.: Машгіз, 1951. - 234 с.
10. Ісагулов А.З. Проектування ливарного оснащення: Навчальний посібник / Ісагулов А.З., Кузембаєв С.Б., Канунікова С.Г. - Караганда: КарДТУ, 2003. - 138 с.
11. Матвєєнко І.В. Формувальне та стрижневе обладнання ливарних цехів / І.В. Матвєєнко., А.З. Ісагулов. - Караганда: Вид-во КарДТУ, 2004. - 215 с.
12. Могильов В.К. Довідник ливарника: довідник для професійного навчання робітників на виробництві / В.К. Могильов., О.І. Лев. - М.: Машинобудування, 1988. - 272 с.

13. Рубцов Н.М. Ливарні форми / Рубцов Н.М., Баландін В.В., Воробйов М.І. - М.: Машинобудування, 1959. - 553 с.
14. Аксьонов П. Н. Обладнання ливарних цехів. М: Машинобудування, 1997. 510с.
15. Хричиков В.Е., Меньяло О.В. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів: Навч. посібник. – Видання друге, доопрацьоване. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2015. – 89с.
16. Фесенко А. М. Технологія ливарної форми (ТЛФ) : навч. посіб. до практичних занять і самостійної роботи для студентів галузі знань 13 «Механічна інженерія» спеціальності 136 «Металургія» спеціалізації «Ливарне виробництво» / А.М. Фесенко.–Краматорськ : ДДМА, 2017. – 112 с.
17. Теорія ливарних сплавів : навч. посібник / Г. А. Бялік, В. В. Наумик, В. В. Луньов, А. В. Пархоменко. - Запоріжжя : ЗНТУ, 2013. - 156 с.
18. Практикум з теорії ливарних сплавів та процесів: навч. посібник / Г. А. Бялік, Е. І. Цивірко, О. Ф. Кузовов, В. В. Луньов. - Запоріжжя : ЗНТУ, 2013. - 98 с.
19. Теоретичні основи ливарного виробництва : навч. посіб. / Могилатенко В.Г., Пономаренко О.І, Дробязко В.М., [та ін.]. – Харків : НТУ «ХП», 2011. – 288 с.
20. Пономаренко О.И. Оптимизация технологических решений для цехов литейного производства: Монография / О.И Пономаренко. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2007. – 320 с.
21. Верховлюк А. М., Нарівський А. В., Могилатенко, В. Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. посіб. / за ред. акад. НАН України В.Л. Найдека. – Київ: Вінниченко, 2016. – 224 с.

ДОДАТКИ