

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  
Хомут СКПШ 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»

\_\_\_\_\_ Кирил ЛУКОВ

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**

\_\_\_\_\_ Луков Кирил Олександрович

1. Тема роботи: «Розробка технології виготовлення виливка Хомут СКПШ 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 Хомут СКПШ. Виконати огляд існуючих способів виготовлення виливків із сталі. Розробити технологію виготовлення виливка Хомут СКПШ 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

\_\_\_\_\_ Луков К.О.

## Анотація

ЛУКОВ Кирил Олександрович. Розробка технології виготовлення виливка Хомут СКПШ методом лиття в піщано-глинисту форму. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2026. 35 с.

Для виготовлення виливків обрано сталь 35Л, наведено її хімічний склад, механічні та ливарні властивості. Для виплавки сплаву вибрано індукційну тигельну піч ІСТ-1,0 з кислотою футеровкою, розглянуто її конструкцію та принцип роботи. Виконано розрахунок шихти методом підбору.

Для виробництва виливків обрано автоматичну ливарну лінію А22821, наведено її будову, технічні характеристики та принцип дії. Вибрано стержневий автомат для виготовлення стержнів, а також матеріали й обладнання для приготування формувальних і стержневих сумішей. Описано організацію роботи очисного відділення.

Проведено аналіз конструкції деталі та технічних вимог до виливка, розроблено модельно-ливарні вказівки й технічні умови. Виконано розрахунок і проектування ливниково-живильної системи, розроблено технологічний процес виготовлення виливка та конструкцію ливарної оснастки. Створено технологічні креслення деталі з модельно-ливарними вказівками та складальне креслення форми.

Ключові слова: виливок, сталь 35Л, індукційна тигельна піч, ливниково-живильна система, підживлювач, стержень, ливарна форма, опока, формувальна суміш.

## Abstract

LUKOV Kirill. Development of technology for manufacturing a SKPSh clamp casting by casting in a sand-clay mold. Qualification work for the first (bachelor's) level of higher education: CUNTU, 2026. 35 p.

Steel 35L was selected for the manufacture of castings, its chemical composition, mechanical and casting properties are given. An induction crucible furnace IST-1.0 with an acid lining was selected for smelting the alloy, its design and principle of operation were considered. The charge was calculated by the selection method.

An automatic casting line A22821 was selected for the production of castings, its design, technical characteristics and principle of operation were given. A rod machine was selected for the manufacture of rods, as well as materials and equipment for the preparation of molding and rod mixtures. The organization of the cleaning department is described.

The analysis of the design of the part and the technical requirements for the casting was carried out, the model-casting instructions and technical conditions were developed. The calculation and design of the sprue-feeding system were performed, the technological process of manufacturing the casting and the design of the casting tooling were developed. Technological drawings of the part with model-casting instructions and an assembly drawing of the mold were created.

Keywords: casting, steel 35L, induction crucible furnace, sprue-feeding system, feeder, rod, casting mold, crucible, molding mixture.

## ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ	9
1.1. Особливості виготовлення сталевих виливків методом лиття в піщано-глинисті форми	9
1.2. Хімічний склад та механічні властивості сплаву	11
1.3. Плавильний агрегат для плавки сплаву	11
1.3. Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм	16
1.5. Сумішеприготувальне відділення	17
1.4.1. Вибір формувальної та стержневої суміші.	19
1.6. Обладнання для фінішної очистки виливків	21
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА	23
2.1. Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок	23
2.2. Розробка модельно-ливарних вказівок	24
2.2.1. Визначення положення виливка у формі	24
2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів	24
2.3. Розрахунок і конструювання ливникової системи	25
2.3.1. Визначення кількості виливків у формі	25
2.3.2. Визначення оптимальної тривалості заливки	25
2.3.3. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи	26
2.4. Технологічний процес виготовлення виливка	28
2.5. Опис процесу проектування ливарної оснастки	30
ВИСНОВКИ	32
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	33
ДОДАТКИ	35

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Лиття у піщано-глинисті форми залишається одним із найпоширеніших і найекономічніших способів виготовлення сталевих виливків у сучасному машинобудуванні. Незважаючи на розвиток спеціальних методів лиття, таких як лиття за виплавлюваними моделями, у кокіль чи вакуумне лиття, технологія виготовлення виливків у піщано-глинистих формах не втрачає своєї актуальності завдяки універсальності, відносно низькій собівартості та можливості отримання деталей практично будь-якої маси, конфігурації та призначення.

Сталеві виливки широко використовуються у важкому, транспортному, енергетичному, сільськогосподарському та гірничому машинобудуванні. Метод лиття у піщано-глинисті форми дозволяє виготовляти як дрібні, так і великогабаритні деталі масою від кількох кілограмів до десятків тонн. Особливе значення ця технологія має для виробництва корпусних деталей, станин, рам, важелів, зубчастих коліс, елементів трубопровідної арматури та інших виробів складної форми.

Актуальність застосування піщано-глинистих форм пояснюється також доступністю вихідних матеріалів, можливістю багаторазового використання формувальних сумішей після регенерації та відносно невеликими капітальними витратами на організацію виробництва. Технологія забезпечує достатню точність і якість поверхні виливків при одночасному збереженні високої гнучкості виробництва, що особливо важливо для дрібносерійного та серійного виготовлення деталей.

Перспективним напрямком розвитку є використання екологічно безпечних зв'язувальних матеріалів, ефективних систем регенерації відпрацьованих сумішей, енергозберігаючих плавильних агрегатів та цифрових технологій контролю виробництва. Це сприяє зниженню витрат матеріалів і енергії, покращенню умов праці та підвищенню конкурентоспроможності ливарних підприємств.

Таким чином, лиття сталевих виливків у піщано-глинисті форми залишається актуальною та перспективною технологією, яка поєднує економічність, універсальність і можливість подальшого вдосконалення на основі сучасних досягнень автоматизації, комп'ютерного моделювання та ресурсозбереження.

**Мета і задачі роботи.** Метою даної роботи є розробка технології виготовлення виливка Хомут СКПШ методом лиття в піщано-глинисту форму.

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

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

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

*Предмет дослідження* – модельно-ливарне оснащення для виготовлення виливка «Хомут СКПШ» методом лиття в піщано-глинисту форму.

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

*Особистий внесок* – Описано технологію виготовлення виливка «Хомут СКПШ» методом лиття в піщано-глинисту форму, розраховано ливниково-живильну систему, описано процес проектування ливарного оснащення, спроектовано креслення модельно-ливарних вказівок та форми в зборі.

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

## **1.1. Особливості виготовлення сталевих виливків методом лиття в піщано-глинисті форми**

Лиття в піщано-глинисті форми є одним із найбільш поширених способів виготовлення сталевих виливків у машинобудуванні. Цей метод дозволяє отримувати деталі складної конфігурації широкого діапазону мас і розмірів при відносно невисоких витратах на технологічну оснастку. Особливості виготовлення сталевих виливків визначаються насамперед високою температурою плавлення сталі, значною усадкою під час кристалізації та підвищеними вимогами до якості формувальних матеріалів.

Технологічний процес починається з виготовлення модельної оснастки, яка використовується для формування порожнини майбутнього виливка. При розробці моделей враховують ливарну усадку сталі, механічні припуски на обробку, формувальні ухили та особливості видалення моделі з форми. Для сталевих виливків величина лінійної усадки зазвичай становить 2,0–2,5 %, що суттєво перевищує усадку багатьох кольорових сплавів.

Форми виготовляють із піщано-глинистих сумішей, основними компонентами яких є кварцовий пісок, бентонітова глина та вода. Формувальна суміш повинна мати високу міцність, газопроникність, пластичність і вогнетривкість. Оскільки температура заливання сталі досягає 1550–1650 °С, до складу сумішей часто вводять спеціальні добавки, які підвищують їхню термостійкість і зменшують ймовірність утворення пригару на поверхні виливка.

Для отримання внутрішніх порожнин і складних елементів конструкції використовують стержні. Стержневі суміші повинні забезпечувати достатню міцність під час складання форми та заливання металу, а також легко руйнуватися після затвердіння виливка. У сучасному виробництві широко

застосовуються стержні, виготовлені за холоднотверднучими або нагрівно-тверднучими процесами.

Однією з найважливіших особливостей виготовлення сталевих виливків є правильне проектування ливниково-живильної системи. Висока усадка сталі під час кристалізації потребує використання підживлювачів, які забезпечують безперервне надходження рідкого металу до термічних вузлів виливка. Для спрямованого затвердіння застосовують холодильники, утеплювальні та екзотермічні матеріали, що дозволяють запобігти утворенню усадкових раковин і пористості.

Плавку сталі здійснюють переважно в індукційних тигельних або дугових електропечах. Після доведення металу до необхідного хімічного складу та температури виконують його розкислення й модифікування. Заливання форм повинно проводитися з оптимальною швидкістю для забезпечення повного заповнення порожнини форми та запобігання утворенню дефектів.

Після кристалізації та охолодження форми руйнують, а виливки направляють на вибивання, очищення від залишків формувальної суміші, видалення ливниково-живильної системи та термічну обробку. Термічна обробка є важливим етапом виготовлення сталевих виливків, оскільки дозволяє зменшити внутрішні напруження, покращити структуру металу та забезпечити необхідні механічні властивості.

Сучасне виробництво сталевих виливків у піщано-глинистих формах характеризується широким використанням автоматизованих формувальних ліній, комп'ютерного моделювання процесів заповнення форми та кристалізації металу, а також систем контролю якості. Це забезпечує підвищення точності виливків, зниження рівня браку та покращення техніко-економічних показників виробництва.

Таким чином, основними особливостями лиття сталевих виливків у піщано-глинисті форми є використання вогнетривких формувальних матеріалів, необхідність компенсації значної усадки сталі, застосування

ефективних ливниково-живильних систем і проведення термічної обробки для отримання виливків із заданими експлуатаційними властивостями.

## 1.2. Хімічний склад та механічні властивості сплаву

Для виготовлення виливків «Хомут СКПШ» відповідно до технічного завдання обрано ливарну вуглецеву сталь 35Л за ДСТУ 8781:2018. Цей матеріал забезпечує отримання виливків із необхідним комплексом механічних властивостей, зокрема достатньою міцністю, твердістю та пластичністю. Хімічний склад сталі 35Л наведено в табл. 1.1, а її механічні властивості — у табл. 1.2.

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

## 1.3. Плавильний агрегат для плавки сплаву

Для виплавки сплаву сталь 35Л доцільно використовувати індукційну тигельну піч промислової частоти моделі ІСТ – 1,0 (рис.1.1), технічна характеристика якої наведена в табл. 1.3.

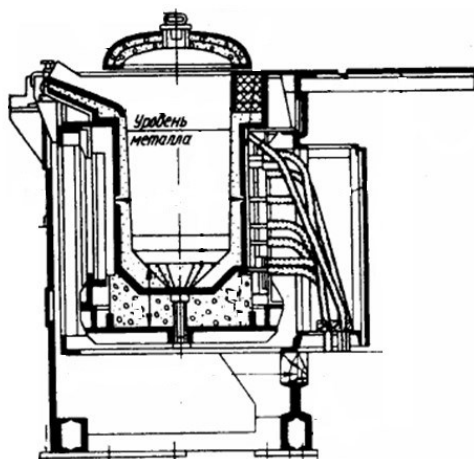


Рис. 1.1. Індукційна тигельна піч типу ІСТ-016

Робота індукційної тигельної печі базується на явищі електромагнітної індукції, за допомогою якої здійснюється нагрівання та розплавлення металу. Основними елементами печі є футерований тигель, у якому розміщується металева шихта, та індуктор, виконаний у вигляді багатовиткової водоохолоджуваної котушки.

Під час проходження змінного електричного струму через індуктор навколо нього виникає змінне магнітне поле. Під його дією в металевій шихті індукуються вихрові струми, які, проходячи через метал, виділяють теплову енергію внаслідок електричного опору матеріалу. У результаті цього метал нагрівається до температури плавлення і переходить у рідкий стан.

Одночасно з нагріванням у розплаві виникає електромагнітне перемішування, що сприяє вирівнюванню температури та хімічного складу металу по всьому об'єму ванни. Завдяки високій ефективності перетворення електричної енергії в теплову, індукційні тигельні печі забезпечують швидке плавлення металу, точне регулювання температурного режиму та отримання розплавів із заданим хімічним складом, що робить їх широко застосовуваними для виплавки сталей і сплавів різного призначення. [9]

Конструктивно піч ІСТ-1,0 складається з футерованого тигля, водоохолоджуваного індуктора, тиристорного перетворювача частоти, конденсаторної батареї, системи водяного охолодження та механізму

нахилу для розливання металу. Піч призначена для плавки та перегріву вуглецевих і легованих сталей з високою точністю регулювання температури та хімічного складу металу.

Таблиця 1.3 – Технічна характеристика індукційної тигельної печі промислової частоти моделі ICT – 016

Параметр	Значення
Тип печі	Індукційна тигельна для плавки сталі
Номінальна місткість тигля	1,0 т
Номінальна потужність	800–851 кВт
Температура перегріву металу	до 1600 °С
Максимальна швидкість плавлення	1,3–1,43 т/год
Частота струму живильної мережі	50 Гц
Напруга живильної мережі	6000 або 10000 В
Частота струму індуктора (контурного кола)	400–500 Гц
Питомі витрати електроенергії	близько 625 кВт·год/т
Час розплавлення та перегріву	близько 0,77 год
Витрата води на охолодження індуктора та кабелів	7,8 м <sup>3</sup> /год
Витрата води на охолодження конденсаторної батареї	3,6 м <sup>3</sup> /год
Витрата води на охолодження тиристорного перетворювача	3,0 м <sup>3</sup> /год
Тиск води в системі охолодження	0,4–0,6 МПа
Маса комплексу печі	близько 12,25 т
Габарити печі	2700 × 2120 мм (у плані)
Режим роботи	безперервний, тризмінний

Розрахунок шихти методом підбору в індукційній тигельній печі типу ІСТ-016 печі з кислою футеровкою [7].

На основі виробничих даних складаємо шихту для плавки в індукційній печі. Хімічний склад шихти для плавки наведено в таблиці 1.4. В таблиці 1.5 наведені коефіцієнти засвоєння елементів  $K_c$ , які використовуються для подальших розрахунків.

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 власного 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.

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	Ст. 5сп	1А	<b>5,8</b>	0,32	0,019	0,25	0,015	0,65	0,038	0,04	0,002	0,035	0,002
2	Лом сталевий	Ст. 35	1А	<b>56,78</b>	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	<b>37,22</b>	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	<b>0,0</b>		0,000	25	0,000	0,7	0,000	0,04	0,000	0,05	0,000
5	Феромарганець	ДСТУ 3547-97	ФМн- 78	<b>0,2</b>	7	0,014	2	0,004	82	0,164	0,03	0,000	0,03	0,000
	<b>Всього:</b>			<b>100</b>		<b>0,366</b>		<b>0,357</b>		<b>0,813</b>		<b>0,042</b>		<b>0,037</b>
	Угар (-), пригар (+)				-10	-0,03659	5	0,018	-20	-0,163	0	0,000	0	0,000
	Розкислювач (алюміній)	ДСТУ 2839-94	AK5M2	<b>0,20</b>										
<b>Кінцевий хім. склад</b>						<b>0,33</b>		<b>0,37</b>		<b>0,65</b>		<b>0,042</b>		<b>0,037</b>
<b>Необхідний хім. склад</b>						<b>0,32-0,40</b>		<b>0,20-0,52</b>		<b>0,45-0,90</b>		<b>до 0,06</b>		<b>до 0,06</b>

#### 1.4. Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм

Виготовлення виливка «Хомут СКПШ» здійснюється на автоматичній ливарній лінії А22821 (рис. 1.2), яка забезпечує комплексну механізацію та автоматизацію всіх основних операцій технологічного процесу — від виготовлення ливарних форм до вибивання готових виливків. Для формування використовуються опоки розміром 600×400 мм. Висота верхньої та нижньої опок становить 100 мм, що забезпечує їх взаємозамінність і спрощує процес складання форми.

Формування виконується за допомогою односторонніх модельних плит. На одній модельній плиті розташовані елементи, що утворюють нижню півформу, а на іншій — елементи верхньої півформи. Така конструкція оснастки забезпечує точне відтворення конфігурації виливка та стабільність параметрів формувального процесу.

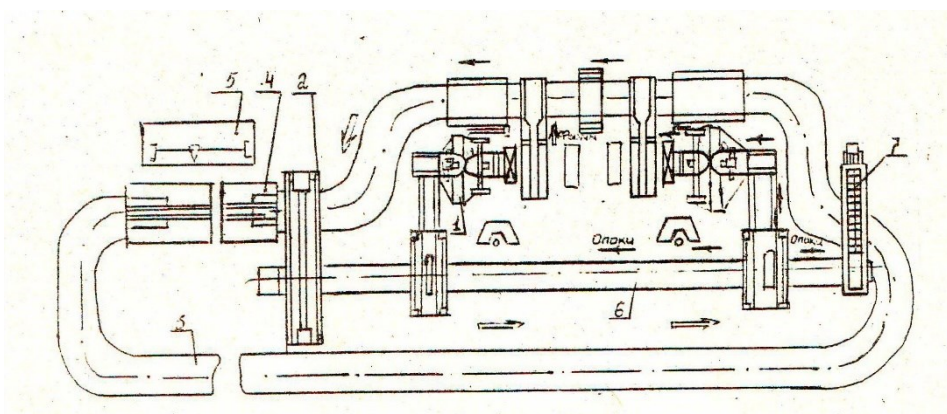


Рис. 1.2. Автоматична лінія А22821

Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії моделі А22821 наведена в таблиці 1.7.

Нижню напівформу виготовляють на формувальному пресі В-440М [9], після чого її поверхню очищають струменем стисненого повітря для видалення залишків формувальної суміші. Верхню напівформу отримують за аналогічною технологією.

Таблиця 1.7 – Технічна характеристика автоматичної формувальної лінія моделі A22821

Назва характеристики	Числове значення
Розміри опок /внутрішні/, мм	600 × 400 × 100-250
Продуктивність, форм/год	450
Маса відливки, кг	30
Кількість опок	300
Виграти повітря, м /год	225
Потужність, кВт	122
Маса, кг	133800
Габаритні розміри, мм	90000 × 11000 × 3000

Подальше складання форми здійснюють за допомогою розпарювача опок ІС-10-001, який забезпечує точне суміщення верхньої та нижньої півформ. Після складання форма подається на заливальну ділянку, де її заповнюють розплавленою сталлю за допомогою автоматичного заливального пристрою з ковшем місткістю 250 кг. Перед заливанням метал ретельно очищають від шлакових включень для забезпечення високої якості виливка.

### 1.5. Сумішеприготувальне відділення

Сумішеприготувальне відділення є одним із найважливіших підрозділів ливарного цеху, оскільки забезпечує виробництво формувальних і стержневих сумішей, від якості яких значною мірою залежать властивості ливарних форм, стержнів та готових виливків. Стабільність складу і властивостей сумішей є необхідною умовою отримання якісної ливарної продукції та зниження рівня браку.

До складу сумішеприготувального обладнання входять бункери для зберігання вихідних матеріалів, дозувальні пристрої, змішувачі, транспортні системи, а також засоби контролю технологічних параметрів сумішей.

Основними компонентами формувальних сумішей є кварцовий пісок, бентонітова глина, вода та спеціальні добавки, які покращують технологічні властивості суміші. Залежно від призначення готують формувальні, стержневі та спеціальні суміші з підвищеними показниками міцності, газопроникності або термостійкості.

Технологічний процес приготування сумішей включає дозування компонентів відповідно до заданої рецептури, їх змішування до отримання однорідної структури та подальше транспортування до формувальних або стержневих дільниць. Важливе значення має постійний контроль вологості, гранулометричного складу, міцності та інших технологічних характеристик сумішей, що забезпечує стабільність ливарного процесу.

Для приготування формувальної суміші використовується вихровий змішувач моделі AMW1250 (рис. 1.3), який належить до обладнання періодичної дії. До змішувача через вагову систему послідовно подають регенований та свіжий кварцовий пісок. Одночасно дозуються бентоніт і вугільний пил, які надходять із бункерів за допомогою дозувальних шнеків. Застосування вагового обладнання забезпечує високу точність дозування всіх компонентів, а результати зважування відображаються на цифровому дисплеї системи керування.

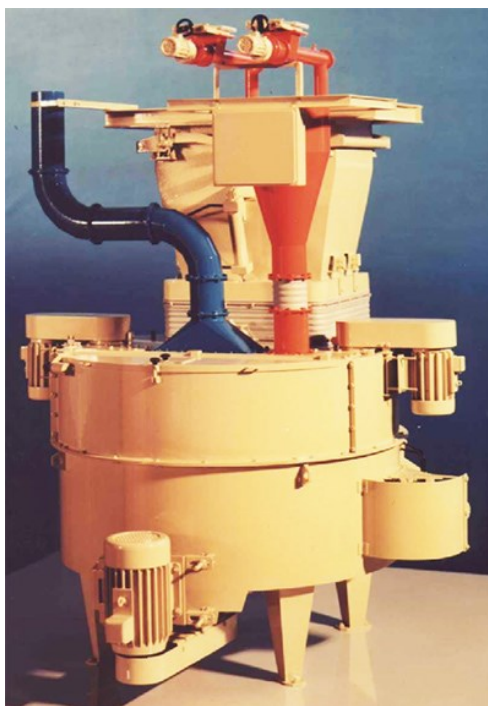


Рис. 1.3. Змішувач вихровий мод. AMW1250

Особлива увага приділяється регулюванню кількості води, оскільки вологість істотно впливає на технологічні властивості формувальної суміші. Система автоматичного керування аналізує показники датчиків залишкової вологості, температури суміші та маси компонентів, після чого визначає необхідну кількість води для введення до змішувача.

Приготування суміші здійснюється шляхом інтенсивного перемішування з чергуванням процесів змішування, грудкування та розпушування матеріалу. Такий режим роботи забезпечує рівномірний розподіл зв'язувальних компонентів, високу однорідність, живучість і ущільнюваність суміші. Конструкція змішувача дозволяє запобігати утворенню грудок і агломератів навіть при підвищеному вмісті зв'язувальних матеріалів, що позитивно впливає на якість формування.

Технічна характеристика вихрового змішувача AMW1250 наведена в табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Технічні характеристики змішувача AMW1250

Продуктивність 1-вихрового змішувача (щільність песка 1300кг/м <sup>3</sup> ), м <sup>3</sup> /год	25
Продуктивність 2-вихрового змішувача (щільність песка 1300кг/м <sup>3</sup> ), м <sup>3</sup> /год	50
Тривалість циклу, с	90
Максимальна потужність двигуна, кВт	121
Об'єм замісу, дм <sup>3</sup>	1250
Підведення стисненого повітря, дюйм	R1/2
Діаметр змішувача, мм	2250
Висота змішувача без дозуючих пристроїв, мм	2150

**1.4.1. Вибір формувальної та стержневої сумішей.** Вибір формувальних і стержневих сумішей є одним із ключових етапів розроблення технології виготовлення виливків, оскільки їхні властивості безпосередньо впливають на якість ливарних форм, стержнів та готової продукції. Під час вибору складу

суміші враховують вид сплаву, масу та конфігурацію виливка, умови заливання металу, а також вимоги до точності розмірів і якості поверхні.

Основними компонентами формувальних сумішей є кварцовий пісок, глина, вода та різноманітні технологічні добавки, які забезпечують необхідні експлуатаційні характеристики. Правильно підібраний склад суміші повинен забезпечувати достатню міцність форми, високу газопроникність, пластичність і здатність точно відтворювати конфігурацію модельної оснастки. Для запобігання утворенню дефектів на поверхні виливків до складу сумішей можуть вводитися спеціальні протипригарні та органічні добавки.

Приготування сумішей здійснюється шляхом точного дозування компонентів та їх ретельного перемішування у змішувальному обладнанні до отримання однорідної структури. Для забезпечення стабільності технологічного процесу проводять постійний контроль вологості, гранулометричного складу, міцності, газопроникності та інших технологічних властивостей сумішей.

Перед впровадженням нового складу суміші у виробництво виконують лабораторні та виробничі випробування, які дозволяють оцінити її технологічні характеристики та вплив на якість виливків. Дотримання встановлених технологічних параметрів і вимог охорони праці забезпечує стабільність процесу формування та отримання виливків високої якості.

Склад і механічні властивості формувальної та стержневої сумішей наведені в табл. 1.9 та 1.10.

Таблиця 1.9 - Склад стержневої суміші і її фізико-хімічні властивості

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

Таблиця 1.10 - Склад і фізико-механічні властивості формувальної суміші

Складова суміші і параметри	Значення параметру
Оборотна суміш, %	96
Пісок кварцовий K02, K016, %	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, одиниць	80

### 1.6. Обладнання для фінішної очистки виливків

Обладнання для фінішної очистки виливків є невід'ємною складовою ливарного виробництва, оскільки забезпечує видалення залишків формувальної суміші, окалини та інших технологічних забруднень із поверхні готових виробів. Проведення фінішної обробки сприяє не лише покращенню зовнішнього вигляду виливків, але й підвищенню їх експлуатаційної якості та довговічності.

У ливарній практиці для фінішної очистки застосовують різні типи обладнання залежно від вимог до якості поверхні та конструктивних особливостей виливків. Одним із поширених способів є обробка у галтувальних барабанах, де виливки піддаються інтенсивній механічній взаємодії між собою

та з робочим середовищем, що забезпечує поступове видалення забруднень і згладжування поверхні.

Також широко використовується дробоструминне або дробометне очищення, під час якого поверхня виливків обробляється потоком металеві дробі під високою швидкістю. Такий метод дозволяє ефективно видаляти окалину, пригар і залишки формувальної суміші, забезпечуючи високу чистоту поверхні.

У випадках, коли необхідна підвищена якість очищення або видалення специфічних забруднень, можуть застосовуватися спеціальні технології, зокрема хімічна обробка або ультразвукові методи. Вони дозволяють ефективно очищати складні ділянки поверхні, де механічні способи є менш результативними.

Окремо застосовуються піскоструминні установки, в яких очищення здійснюється за рахунок впливу абразивного струменя. Такий спосіб забезпечує якісну підготовку поверхні виливків до подальших операцій, зокрема фарбування або нанесення захисних покриттів.

Таким чином, фінішна очистка виливків є важливим завершальним етапом технологічного процесу, від якого значною мірою залежить якість готової продукції. Вибір конкретного способу та обладнання визначається матеріалом виливка, його конфігурацією та вимогами до кінцевої якості поверхні.

## 2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА

### 2.1. Аналіз конструкції деталі і технічних умов на виливок

Виливок належить до XI класу точності згідно з ГОСТ 26645–85 та виготовляється зі сталі 35Л відповідно до ДСТУ 8781:2018 [1]. Допустима різностінність становить не більше 1 мм, короблення — до 1 мм, а перекіс по роз'єму — також у межах 1 мм.

На оброблюваних поверхнях допускається наявність поодиноких раковин глибиною не більше 1/3 припуску на механічну обробку та шириною до 1/2 припуску, або дрібних раковин у кількості не більше 5 шт. Для необроблюваних поверхонь дозволяються поодинокі раковини розміром до 3 мм і глибиною до 1 мм у кількості не більше 5 шт. на одну поверхню, які можуть усуватися шляхом шпаклювання або заварювання. На поверхнях типу Б наявність напливів, пригару, тріщин і раковин не допускається.

Деталь «Хомут СКПШ» є елементом вантажопідіймального пристрою, призначеного для транспортування важких вантажів. Маса деталі становить 2,2 кг, габаритні розміри — 230×56×82 мм.

До оброблюваних поверхонь належать отвори Ø17, які у відливку не формуються, оскільки їх доцільно отримувати шляхом подальшої механічної обробки з економічних міркувань. Інші поверхні не підлягають механічній обробці. Виливок є технологічним за своєю конструкцією: зовнішні поверхні мають прямолінійні ділянки з плавними переходами, що сприяє рівномірній усадці під час охолодження та зменшенню рівня залишкових напружень у зонах спряження.

Конструкція виливка не передбачає використання стержнів та знімних елементів, а роз'єм моделі і форми виконується в одній площині.

## 2.2. Розробка модельно-ливарних вказівок

**2.2.1. Визначення положення виливка у формі.** Положення відливка у формі під час заливання прийнято горизонтальним. Площина роз'єму моделі та форми обрана таким чином, що весь виливок розташовується в нижній напівформі. Таке компонування забезпечує підвищену герметичність форми, сприяє спрямованому затвердінню металу, зменшує витрати на ливникову систему та полегшує процес машинної формовки. Конструкція моделі не потребує застосування знімних елементів. Розміщення виливка в нижній частині форми забезпечує стабільне заповнення порожнини, спрощує складання форми, полегшує контроль розмірів і виключає ускладнення під час вилучення моделі.

**2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів.** Розміри виливка відрізняються від розмірів готової деталі на величину припусків на механічну обробку. Для сталі 35Л припуски приймаються відповідно до ГОСТ 26645–85. На кресленні межі припусків позначаються тонкою лінією, при цьому їх значення для даної деталі становить 2,5 мм [4].

Припуск на ливарну усадку задається у відсотках від відповідного розміру виливка. Його величина для сталі 35Л приймається за довідковими даними [2]. Для середніх за масою виливків вільна усадка становить близько 2 %.

Радіуси заокруглень призначаються як  $1/5$ – $1/3$  середньої товщини стінок у місцях спряження. Для даного виливка прийнято радіус 3 мм. Мінімально допустимі значення визначаються за нормативними даними [3]. Усі радіуси обов'язково наносяться на кресленні виливка, а ті, що не зазначені, приймаються за замовчуванням і вказуються у вільному полі креслення.

Формувальні ухили встановлюються залежно від габаритів виливка та прийнятої технології виготовлення форми і стержнів відповідно до ГОСТ 3212–57. Мінімальні значення ухилів приймаються за довідниковими даними [4]. Для даної деталі кут ухилу становить  $2^\circ$ . Усі призначені ухили відображаються на

кресленні, а ті, що не зазначені окремо, проставляються у технічних вимогах креслення.

### **2.3. Розрахунок і конструювання ливникової системи**

**2.3.1 Визначення кількості виливків у формі.** Розміри опок визначаються габаритами виливка, кількістю виробів, що розміщуються в одній формі, параметрами ливникової системи, а також схемою розташування моделей на підмодельній плиті. Раціональність використання внутрішнього об'єму опоки оцінюється коефіцієнтом металоємності, який характеризує співвідношення маси металу виливків до маси формувальних і стержневих матеріалів. Значення цього коефіцієнта залежить від складності конфігурації, товщини стінок та розмірів виливка і зазвичай знаходиться в межах 0,25–1,2.

Розташування моделей у формі визначається необхідними технологічними відстанями. Інтервали між окремими моделями приймаються в межах (0,3–0,5) від висоти моделі  $h$ , що враховується як для верхньої, так і для нижньої частини форми, а також для зазорів до меж опоки. При груповому розміщенні виливків із єдиною ливниковою системою мінімальна відстань між ними у площині роз'єму повинна становити не менше 20–25 мм. Відстань від поверхні виливка до стінок опоки приймається в межах 50–100 мм, тоді як зазор від виливка до верху і низу опок становить 33 мм.

З урахуванням використання автоматичної ливарної лінії A22821 та габаритів опоки 600×400×100 мм прийнято рішення розмістити шість виливків в одній опоці.

**2.3.2. Визначення оптимальної тривалості заливки.** Ливникова система представляє собою систему послідовно з'єднаних між собою каналів, а саме – ливникової чаші (воронки), стояка, шлаковловлювача, підживлювача, живильника, за допомогою яких розплавлений метал підводиться у ливарну порожнину форми.

Оптимальна тривалість заливки визначається за формулою [1]:

$$t = S_1 \cdot \sqrt[3]{\delta \cdot C_1}, \quad (2.1)$$

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

$\delta$  – середня товщина стінок відливка,  $\delta = 10$  мм;

$C_1$  – вага одного відливка з ливниковою системою, кг

$$C_1 = C_\delta + 0,5 \cdot C_\delta \quad (2.2)$$

$$C_1 = 2,2 + 1,1 = 3,3 \text{ кг}$$

Тоді:

$$t = 2 \cdot \sqrt[3]{10 \cdot 3,3} = 6,42 \text{ сек}$$

Середня швидкість рівня підйому металу у формі визначається по формулі:

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

$$V = \frac{82}{6,42} = 12,7 \text{ мм / сек.}$$

де  $C$  – висота відливка, мм;

$t$  – оптимальна тривалість заливки, сек.

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

### 2.3.3. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи [6].

Загальна площа живильників на один відливок:

$$\sum F_{жс} = \frac{G \cdot 1000}{\mu \cdot t \cdot \gamma \cdot \sqrt{r \cdot g \cdot H_p}}, \quad (2.4)$$

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

$\mu$  – коефіцієнт витрат металу,  $\mu = 0,5$  [1];

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

$H_p$  – середній метало статичний тиск, см.

Середній метало статичний тиск визначаємо за формулою:

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

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

$p$  – висота відливка над рівнем підйому металу,  $p = 0$  мм;

$c$  – загальна висота відливка,  $c = 82$  мм.

$$H_p = 100 \text{ мм} = 10 \text{ см}$$

$$\sum F_{жс} = \frac{3,3}{0,7 \cdot 6,42 \cdot 7600 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,1}} = 0,69 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу живильника трапецію (див. креслення деталі).

В зв'язку з тим, що в одній формі одночасно виготовляється 6 відливок, то сумарна площа підживлювачів на форму складає:

$$\sum F_{жс} = 0,72 \cdot 6 = 4,32 \text{ см}^2$$

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

$$\sum F_{жс} : \sum F_{шл} : \sum F_{ст} = 1:1,2:1,5 \quad (2.6)$$

Площа поперечного перерізу шлаковловлювача:

$$\sum F_{шл} = \sum F_{жс} \cdot 1,2 = 4,32 \cdot 1,2 = 5,185 \text{ см}^2$$

Приймаємо форму поперечного перерізу шлаковловлювача трапецію (див. креслення деталі).

Площа поперечного перерізу стояка:

$$F_{cm} = \sum F_{жс} \cdot 1,5 = 4,32 \cdot 1,5 = 6,48 \text{ см}^2 \quad (2.7)$$

Оскільки:

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

Діаметр стояка:

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

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6,48}{3,14}} = 2,87 \text{ см}$$

Приймаємо  $d = 30$  мм.

Визначальний розмір підживлювача розраховуємо за формулою:

$$D_{піджс} = (0,4 \dots 0,5) \cdot \sqrt{V_y} + \delta \quad (2.10)$$

$$D_{піджс} = 0,5 \cdot \sqrt{3} + 1,6 = 2,46 \text{ см}$$

Приймаємо виносний підживлювач трапецевидної форми висотою 50 мм та середньою товщиною 25 мм (див. креслення). При цьому, один підживлювач живить два виливка

## 2.4. Технологічний процес виготовлення виливка

Розрахунок початкової температури рідкої сталі для заповнення ливарних форм обов'язково базується на теплових втратах, що виникають під час випуску металу з плавильного агрегату та його подальшого транспортування. Зокрема, на етапі випуску розплаву фіксується зниження температури в межах 20–40 °С, тоді як при проміжному переливанні між ковшами воно становить від 30 до 50 °С. З

огляду на ці чинники, для виготовлення деталей із середньою товщиною стінок близько 10 мм рекомендовано підтримувати температуру заливання на рівні 1550–1580 °С.

Сам процес заповнення форм вимагає постійного контролю за швидкістю та плавністю подачі рідкого металу. На старті заливання ківш повертають оперативно, але без різких рухів, що забезпечує стабільне та швидке наповнення всієї ливникової системи. Період кристалізації та охолодження виливків відбувається під час їхнього переміщення рольгангами від зони заливання до ділянки вибивання, де завершуються всі внутрішньоструктурні фазові перетворення сталі. Технологічно регламентовано здійснювати вибивання сталевих заготовок після їхнього охолодження до 200 °С, після чого використані форми спрямовуються на відповідну лінію регенерації суміші.

Процес руйнування форм реалізується на спеціалізованому обладнанні, де формосуміш разом із виливками виштовхується за допомогою преса з нерухомої опоки на вібраційну решітку. Автоматичні штовхачі скидають опоки з плит ливарного конвеєра, а спресовані грудки суміші розбиваються під дією вібрації та лотками транспортуються на головний конвеєр. Далі заготовки проходять обробку в галтувальних барабанах для остаточного відокремлення залишків матеріалу, звідки пластинчастим транспортером подаються до очисного відділення. Перед початком фінішної обробки весь метал підлягає обов'язковому візуальному огляду, що дозволяє відразу відсіяти та утилізувати браковану продукцію.

Комплексна технологія очищення сталевих литва передбачає механічне відокремлення елементів ливниково-живильної системи, очищення поверхонь від залишків формувального матеріалу, а також підсумкову дефектоскопію. Поверхневі дефекти, задирки, перекося та заливи зачищають абразивними кругами на стаціонарних обдирочно-зачисних верстатах. Оцінку якості готових заготовок виконують контролери цехового БТК, причому після усунення можливих зауважень деталі проходять перевірку повторно. На фінальній стадії виробу захищають від корозії шляхом промивання у двокамерній машині,

сушіння теплим повітрям, занурення у ванну з ґрунтовкою та подальшої термічної фіксації шару в камері при 60 °С протягом 10 хвилин, після чого їх транспортують на склад.

## **2.5. Опис процесу проектування ливарної оснастки**

У великосерійному та масовому виробництві для забезпечення тривалого терміну служби модельного оснащення застосовують металеві моделі, що відрізняються підвищеною зносостійкістю та стабільністю геометричних параметрів у процесі багаторазового використання. Такі моделі виготовляють методом лиття у піщані форми за попередньо виготовленими дерев'яними промоделями. Промоделі проектують із обов'язковим урахуванням припусків на механічну обробку як самої моделі, так і майбутнього виливка, а також з урахуванням ливарної усадки модельного сплаву та технологічних особливостей подальшої експлуатації.

У даному випадку модельне оснащення виконують із сірого чавуну марки СЧ20, що забезпечує достатню міцність, стабільність форми та зручність механічної обробки. Обробка елементів моделей здійснюється переважно вручну з використанням стандартного металорізального та слюсарного інструменту. Припуск на механічну обробку виливка приймається рівним 1 мм, що дозволяє забезпечити необхідну точність розмірів після фінішної обробки.

Товщина елементів моделі визначається за номограмами залежно від габаритних розмірів, конструктивної складності та умов лиття. З огляду на відносно невеликі розміри виливка, модель виконується у суцільному виконанні, що спрощує її виготовлення та підвищує жорсткість конструкції. Після виконання механічної обробки напівмоделі встановлюють і монтують на підготовлені промодельні плити з урахуванням розмірів опок 500×400 мм та вимог до розміщення елементів ливарної оснастки.

Розташування моделей на плиті виконується таким чином, щоб забезпечити рівномірний розподіл елементів та технологічні зазори: відстань від

контурів моделей до країв плити приймається не менше 300 мм, що гарантує зручність формування та достатню міцність форми. Ливникову систему встановлюють відповідно до робочої конструкторської документації з урахуванням напрямку заповнення форми та умов живлення вилівка. Кріплення моделей і елементів ливникової системи здійснюється за допомогою заклепок, що забезпечує надійну фіксацію при багаторазовому використанні, а монтаж виконується з використанням металевого шаблону товщиною 2–5 мм, який гарантує точність взаємного розташування елементів.

Моделльні плити виготовляють із чавуну товщиною 40 мм, що забезпечує достатню жорсткість конструкції та стійкість до деформацій у процесі формування. Робочі поверхні плит піддаються механічній обробці для досягнення необхідної площинності та чистоти поверхні. На підготовлену плиту встановлюють монтажний шаблон, після чого розміщують напівмоделі та виконують свердління кріпильних отворів. Напівмоделі при цьому використовують як кондуктори, що дозволяє забезпечити точне та одночасне формування отворів у моделі та плиті.

Після цього плити суміщають, отвори остаточно доробляють у парі для забезпечення точності складання, а моделі фіксують за допомогою гвинтових з'єднань. Після закріплення моделей здійснюється монтаж елементів ливникової системи: на нижній плиті встановлюють живильники, а на верхній — шлаковловлювачі та підживлювачі, що забезпечує стабільне заповнення форми та якісне живлення вилівка під час кристалізації.

Підмоделльні плити оснащуються елементами центрування та фіксації у вигляді напрямних штифтів і відповідних отворів, що забезпечує точне суміщення верхньої та нижньої частин форми. Кріплення плит до формувальної машини здійснюється за допомогою болтового з'єднання, що гарантує їх надійну фіксацію в процесі роботи обладнання.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі першого (бакалаврського) рівня вищої освіти розроблено технологію виготовлення виливка «Хомут СКПШ» методом лиття у піщано-глинисті форми. У межах виконання роботи розв'язано комплекс взаємопов'язаних технічних задач, спрямованих на забезпечення якісного та стабільного процесу виробництва виливків.

Зокрема, виконано аналіз та опис властивостей матеріалів і технологічного обладнання, що використовується у виробництві; розроблено модельно-ливарні вказівки та технічні умови на виготовлення виливка; здійснено розрахунок і проектування ливниково-живильної системи; описано технологічний процес отримання виливка; а також розглянуто принципи проектування та використання ливарного оснащення.

У першому розділі обґрунтовано вибір матеріалу виливка – сталь 35Л, наведено її хімічний склад, механічні та ливарні властивості. Для плавки обрано індукційну тигельну піч ІСТ-1,0 з кислою футеровкою, розглянуто її конструкцію та принцип дії. Виконано розрахунок шихти методом підбору. Як основне технологічне обладнання прийнято автоматичну ливарну лінію А22821, наведено її характеристику, будову та принцип роботи. Також обґрунтовано вибір обладнання для приготування формувальних і стержневих сумішей та описано роботу очисного відділення.

У другому розділі проведено аналіз конструкції деталі та технічних вимог до виливка. На основі цього розроблено модельно-ливарні вказівки та технічні умови, виконано розрахунок і проектування ливниково-живильної системи. Детально описано технологічний процес виготовлення виливка, а також етапи проектування ливарного оснащення з урахуванням вимог до точності та технологічності.

Результатом роботи є розроблені технологічні креслення деталі з модельно-ливарними вказівками та складальне креслення форми, що забезпечують можливість впровадження запропонованої технології у виробництво.

## 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. Ливарні 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., Баландин 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