

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Матеріалознавства та ливарного виробництва»

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Розробка технології виготовлення виливка
Втулка КУН 04 методом лиття в піщано-
глинисту форму»**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го

курсу групи ПМ-22мб-1

ОПП «Компютерний інжиніринг

технологій, робототехніка і 3D друк»

спеціальності 131 «Прикладна

механіка»

_____ Тетяна КОШЛАК

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

« ____ » _____ 2025 р.

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

Кошлак Тетяна Сергіївна

1. Тема роботи: «Розробка технології виготовлення виливка Втулка КУН 04 методом лиття в піщано-глинисту форму»
2. Керівник роботи: Конончук Сергій Васильович, канд. техн. наук, доцент
3. Строк подання роботи до захисту: 15.06.2025 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: розробка технології лиття в піщано-глинисту форму виливка Втулка КУН 04. Виконати огляд існуючих способів виготовлення виливків із сталі. Розробити технологію виготовлення виливка Втулка КУН 04 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	10.04.2025	
2	Розрахунки по технологічній частині	30.04.2025	
3	Креслення по технологічній частині	20.05.2025	
4	Оформлення пояснювальної записки	10.06.2025	
5	Оформлення презентації роботи	15.06.2025	
6	Здача роботи на кафедрі та перевірка на наявність запозичень	15.06.2025	
9	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2025	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2025 р.

Підпис керівника

_____ Конончук С.В.

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2025 р.

Підпис здобувача

_____ Кошлак Т.С.

Анотація

КОШЛАК Тетяна Сергіївна. Розробка технології виготовлення виливка Втулка КУН 04 методом лиття в піщано-глинисту форму. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2024. 35 с.

Вибрано в якості матеріалу для виготовлення виливків сплав Сталь 35Л, описано хімічний склад, механічні та ливарні властивості сплаву. Для плавки сплаву вибрано індукційну тигельну піч типу ІСТ-016 з кислотою футеровкою. Описано принцип роботи печі. Виконано розрахунок шихти методом підбору. Для виготовлення відливків вибрано автоматичну ливарну лінію А22821. Описано будову, принцип роботи та технічні характеристики лінії. Вибрано стержневий автомат для виготовлення стержнів. Вибрано матеріали та обладнання для приготування формувальних та стержневих сумішей. Описано роботу очисного відділення.

Виконано аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок, розроблені модельно-ливарні вказівки та технічні умови на виливок, розраховано та спроектовано ливниково-живильну систему, описано технологічний процес виготовлення виливка, описано процес проектування ливарної оснастки.

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

Ключові слова: виливок, сталь, ливниково-живильна система, підживлювач, стержень, підмодельна плита, опока, формувальна суміш.

Abstract

KOSHLAK Tetyana. Development of the casting manufacturing technology for the KUN 04 bushing by sand-clay mold casting method. Qualification work for the first (bachelor's) level of higher education: CUNTU, 2024. 35 p.

The alloy Steel 35L was selected as the material for manufacturing castings, the chemical composition, mechanical and casting properties of the alloy were described. An induction crucible furnace of the IST-016 type with an acid lining was selected for melting the alloy. The principle of operation of the furnace was described. The charge was calculated by the selection method. An automatic casting line A22821 was selected for manufacturing castings. The structure, principle of operation and technical characteristics of the line were described. A rod machine was selected for manufacturing rods. Materials and equipment for preparing molding and rod mixtures were selected. The work of the cleaning department was described.

The analysis of the design of the part and the technical conditions for the casting was performed, the model-casting instructions and technical conditions for the casting were developed, the sprue-feeding system was calculated and designed, the technological process of manufacturing the casting was described, the process of designing the casting tooling was described.

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

Keywords: casting, steel, sprue-feeding system, feeder, rod, sub-model plate, mold, molding mixture.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ	9
1.1. Хімічний склад та механічні властивості сплаву	10
1.2. Плавильний агрегат для плавки сплаву	10
1.3. Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів	14
1.4. Сумішеприготувальне відділення	15
1.4.1. Вибір формувальної та стержневої суміші.	18
1.5. Обладнання для фінішної очистки виливків	19
2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДЛИВКА	21
2.1. Аналіз конструкції деталі та технічних умов на відливок	21
2.2. Розробка модельно-ливарних вказівок	21
2.2.1. Визначення положення відливка у формі.	21
2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків	22
2.3. Розрахунок і конструювання ливникової системи	23
2.3.1. Визначення габаритних розмірів опоки	23
2.3.2. Визначення оптимальної тривалості заливки	23
2.3.3. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи	24
2.4. Опис технологічного процесу виготовлення відливка	27
2.5. Опис процесу проектування ливарної оснастки	29
ВИСНОВКИ	32
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	33
ДОДАТКИ	35

ВСТУП

Актуальність роботи. Ливарне виробництво є ключовим постачальником заготовок для машинобудування, забезпечуючи широкий спектр литих деталей різної конфігурації з мінімальними припусками на обробку та високими експлуатаційними характеристиками.

Сучасний розвиток ливарної галузі зосереджений на вдосконаленні технологічних процесів для зниження витрат ресурсів (матеріалів та енергії), підвищення продуктивності, покращення умов праці та мінімізації шкідливого впливу на довкілля, що, в свою чергу, призводить до підвищення якості та ефективності виробництва.

Ливарне виробництво характеризується різноманіттям методів лиття, технологічних процесів, обладнання, інструментів та матеріалів. Це відображає як складність самого процесу, так і різноманітність деталей сучасної техніки, їх виробництва та експлуатації. Тенденції розвитку спрямовані на виробництво легших, складніших та точніших відливків з використанням високоміцних сплавів, включаючи кольорові метали, та високопродуктивних технологій.

Прогрес у ливарній справі полягає в автоматизації, вдосконаленні систем виробництва та контролю якості, що сприяє покращенню умов праці, охороні навколишнього середовища, підвищенню якості відливків та економічній ефективності. Застосування сучасних технологій та автоматизації дозволяє значно покращити якість готових виробів.

Тому вирішення задач розробки технологічного процесу лиття в піщано-глинисту форму, розрахунку і проектування ливниково-живильної системи та задач проектування ливарного оснащення є актуальними.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка технології виготовлення вилівка Втулка КУН 04 методом лиття в піщано-глинисту форму.

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- характеристика матеріалів та обладнання, що використовуються в технологічному процесі виготовлення вилівок;

- 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 сталевого литва в піщано-глинисту форму.

Предмет дослідження – розробка модельно-ливарного оснащення для виготовлення виливка «Втулка КУН 04» методом лиття в піщано-глинисту форму.

Практичне значення – розраховано та спроектовано модельно ливарне оснащення для виготовлення виливка «Втулка КУН 04» методом лиття в піщано-глинисту форму.

Особистий внесок – Вибрано матеріали, обладнання для виготовлення виливка «Втулка КУН 04» методом лиття в піщано-глинисту форму та описано його роботу, розраховано ливниково-живильну систему виливка, описано процес проектування ливарного оснащення, спроектовано креслення модельно-ливарних вказівок та форми в зборі.

1. ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ ТА ОБЛАДНАННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ

При литті в піщано-глинисті форми задіяна велика кількість матеріалів, включаючи шихтові, формувальні та допоміжні. Для плавки сталі марки 35Л використовується шихта, що складається з різних компонентів, які забезпечують необхідні властивості кінцевого продукту. Основним компонентом є металевий лом, який може бути як сталевим брухтом, так і відходами виробництва. Для покращення механічних властивостей часто додають чавун. Кокс виконує роль палива та відновника, забезпечуючи необхідну температуру плавлення. Для коригування хімічного складу сталі використовуються феросплави, такі як феросиліцій або фероманганець. Шлаки застосовуються для контролю вмісту домішок та покращення якості плавки.

У якості формувальних матеріалів застосовують кварцовий пісок, бентонітову глину, оборотну суміш та різні зв'язуючі речовини, такі як рідке скло, смоли та каталізатори. До допоміжних матеріалів належать роздільні покриття (гас, мелений графіт, кокс), гранульоване вугілля та тальк.

Для плавки сталі застосовуються конвертери, електродугові та індукційні тигельні печі. Виготовлення форм здійснюється за допомогою формувальних машин, які в умовах масового виробництва інтегруються в автоматичні лінії. На автоматичних формувальних лініях всі етапи, включаючи формовку, заливку, витримку та вибивання, виконуються автоматично. Формувальні та стержневі суміші готуються у сумішеприготувальному відділенні, обладнаному ситами, магнітними сепараторами та змішувачами. Стержні виготовляються на стержневих автоматах з гарячою оснасткою (при використанні термореактивних сумішей) або з холодною оснасткою (при використанні холоднотвердіючих сумішей).

1.1. Хімічний склад та механічні властивості сплаву

Для виготовлення відливок Втулка КУН 04 згідно із завданням використовується сплав Сталь 35Л ДСТУ 8781:2018. Використання цього сплаву забезпечує необхідні механічні властивості (міцність, твердість, відносне видовження) відливок. Хімічний склад сплаву наведено в табл. 1.1. Механічні властивості сплаву наведено в 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

1.2. Плавильний агрегат для плавки сплаву

Для плавки сталі використовуємо індукційну тигельну піч промислової частоти моделі ІСТ – 016 (рис.1.1), технічна характеристика якої наведена в табл. 1.3.

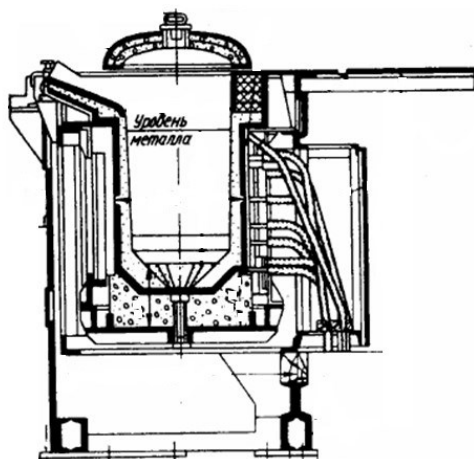


Рис. 1.1. Індукційна тигельна піч типу ІСТ-016

Принцип роботи індукційної тигельної печі полягає у використанні електромагнітної індукції для нагрівання та плавлення металу. Піч складається з неструмопровідного тигля, в якому знаходиться метал, що плавиться, та індуктора, зазвичай у формі спіралі з декількома витками. Електричний струм, який проходить через індуктор, створює змінне магнітне поле. Це поле індукує електричні струми в тиглі, які генерують тепло через ефект Джоуля, нагріваючи метал до температури плавлення. Завдяки цьому метал розплавляється, утворюючи рідкий метал для подальшої обробки. Індукційні печі забезпечують точний контроль температури та складу металу, що робить їх ефективними для плавлення різних сплавів. [9]

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

Параметр	Одиниця	Показник
Номінальна місткість тигля	т	0,16
Номінальна потужність перетворювача	кВт	320
Швидкість плавлення щодо розплавлення і перегріву до 1600 °С	т/год	0,40
Розрахункова годинна продуктивність за повного циклу плавки	т/год	0,212
Кількість печей на один комплект	шт	1
Потужність конденсаторної батареї	кВт	2090
Робоча температура металу	°С	1600
Потужність необхідна для підтримкиробочої температури металу	кВт	60
Час розплавлення і перегріву металу	год	1,3
Загальна маса печі з тиглем і розплавленим металом	т	0,75

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	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	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 та стержнів

Виготовлення відливка "Втулка КУН 04" здійснюється на автоматичній ливарній лінії А22821 (див. рис. 1.2), що повністю автоматизує процес від формовки до вибивки готової форми. Розміри опоки складають 500×400 мм, а висота верхньої та нижньої опок однакова – 100 мм. Використовуються односторонні модельні плити: на одній розміщені елементи для нижньої частини форми, на іншій – для верхньої.

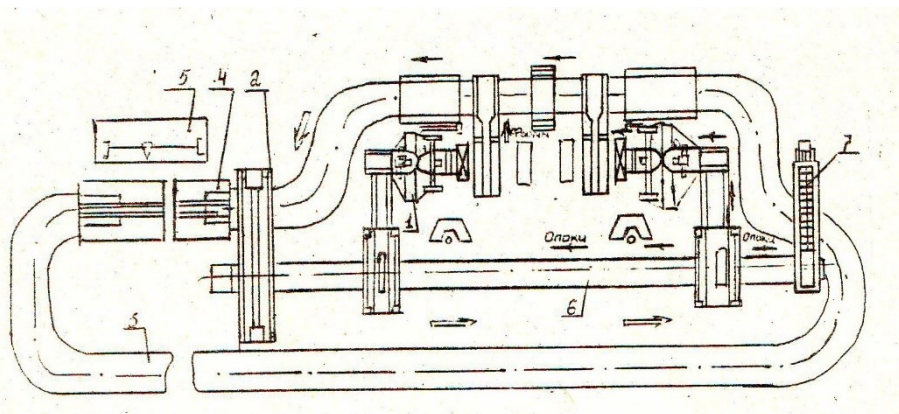


Рис. 1.2. Автоматична лінія А22821

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

Таблиця 1.7 – Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії моделі А22821

Назва характеристики	Числове значення
Розміри опок /внутрішні/, мм	500 × 400 × 100-150
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

Формування нижньої половини форми відбувається на пресі В-440М [9], після чого її очищають стисненим повітрям. Верхня половина форми формується аналогічно. Готові стержні, що виготовляються на універсальному стержньовому автоматі 4509А (табл. 1.8) з використанням швидкотвердіючих термореактивних сумішей у гарячих ящиках для підвищення точності, вручну встановлюються у нижню половину форми. Потім, за допомогою розпаровщика опок ІС-10-001, обидві половини з'єднуються. Зібрана форма транспортується на ділянку заливки, де її заповнюють автоматичним заливником з ковшем місткістю 250 кг. Перед заливкою сталь очищається від шлаку. Легкі стержні (до 10 кг) виготовляються на універсальному автоматі 4509А.

Таблиця 1.8 – Технічна характеристика піскострільного автомату мод. 4509А

Назва характеристики	Величина
Найбільша маса стержня, кг	10
Продуктивність, зйомів/год.	120...140
Розміри стержневого ящика, мм	600×400×200
Тривалість циклу, с	25
Ємність робочого резервуара, л	25
Потужність електродвигуна, кВт	140
Габарити, мм	4700×3900×3000
Маса, кг	13000

1.4. Сумішеприготувальне відділення

Сумішеприготувальне відділення є критично важливим елементом будь-якого ливарного цеху, оскільки саме тут готуються формувальні та стержневі суміші, які використовуються для створення форм та стержнів для лиття. Процес приготування сумішей вимагає точності та контролю, оскільки якість суміші безпосередньо впливає на якість кінцевого продукту.

До основного сумішеприготувального обладнання відносяться бункери для зберігання сипучих компонентів (піску, глини), дозатори для точного дозування компонентів сумішей, змішувачі, які забезпечують ретельне перемішування компонентів о однорідність суміші, різноманітні системи транспортування (конвеєри, шнеки), а також системи контролю вологості, гранулометричного складу, міцності та інших властивостей сумішей.

В залежності від вимог, готуються різні типи сумішей: формувальні, стержневі, а також спеціальні суміші з добавками для покращення певних властивостей (наприклад, міцності, термостійкості).

Зазвичай процес починається з дозування компонентів згідно з рецептурою. Після цього компоненти надходять до змішувача, де ретельно перемішуються до досягнення однорідної консистенції. Готова суміш транспортується до місць зберігання або безпосередньо на формувальне або стержневе виробництво. Важливим є контроль вологості, оскільки вона впливає на властивості суміші. Регулярний контроль якості забезпечує стабільність та передбачуваність процесу лиття.

Для приготування формувальної суміші змішувач вихровий мод. АМW1250 (рис.1.3).

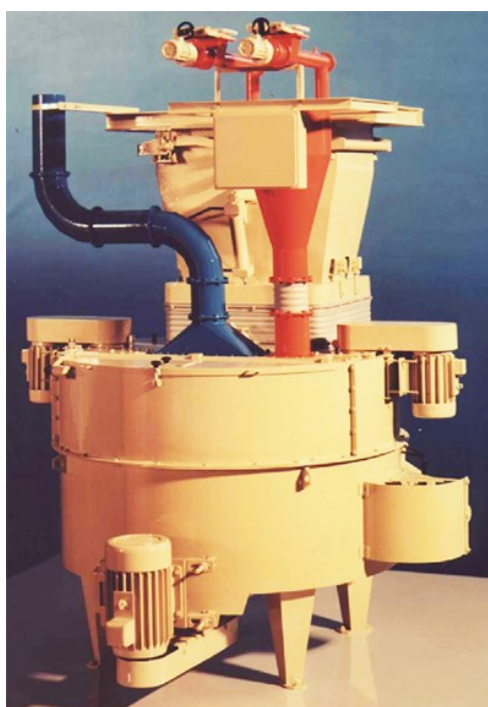


Рис. 1.3. Змішувач вихровий мод. АМW1250

Змішувач є агрегатом періодичної дії. Необхідна кількість свіжого кварцового піску та регенованого піску подаються зверху через ваги змішувача. У цьому випадку спочатку подається пісок, що регенується, а потім свіжий кварцовий пісок. Бентоніт і вугільний пил також дозують через ваги. Подача компонентів здійснюють через два дозуючі шнеки, що змонтовані на бункері установки приготування суміші. Встановлена вагова техніка дозволяє точно вибирати необхідну кількість бентоніту та вугільного пилу. Усі зважені компоненти відображаються на приладі у цифровому вигляді.

Велика увага приділяється дозуванню води. У обчислювальному блоці обробляються дані датчиків вимірювання залишкової вологості, температури суміші та ваги компонентів, за якими визначається необхідна кількість води для подачі у змішувач.

Процес приготування суміші здійснюється спеціальною установкою перемішування. Вона реалізує короткочасне чергування процесів змішування, злипання та розпушування. Цим процесом досягається висока живучість та ущільнюваність суміші.

Конструктивне використання змішувача запобігає виникненню агломератів навіть при високому вмісті зв'язуючих.

Технічна характеристика змішувача наведена в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Технічні характеристики змішувача AMW1250

Продуктивність 1-вихрового змішувача (щільність піску 1300кг/м ³), м ³ /год	25
Продуктивність 2-вихрового змішувача (щільність піску 1300кг/м ³), м ³ /год	50
Тривалість циклу, с	90
Максимальна потужність двигуна, кВт	121
Об'єм замісу, дм ³	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 суміші. Вибір формувальної суміші – це дуже важливий етап у ливарному виробництві, адже від цього залежить якість майбутніх відливок. Враховується тип відливок (чавун, сталь, алюміній тощо), що визначає склад суміші: пісок, глина, добавки (графіт, вугілля) та вода. Оптимальні пропорції цих компонентів забезпечують потрібні властивості суміші – текучість для заповнення форми, міцність для стійкості форми під час заливки та газопроникність, щоб уникнути дефектів у відливках. Суміш готується з використанням дозаторів для точного вимірювання та спеціальних змішувачів для однорідності. Важливо постійно контролювати якість – вологість, зерновий склад та міцність – для стабільності процесу. Перед використанням нової суміші обов'язково проводять тестування на невеликих зразках. І, звичайно, не забуваємо про безпеку: дотримуємося всіх правил та використовуємо засоби індивідуального захисту. Склад та механічні властивості формувальної та стержневої суміші приведені у таблицях 1.8, 1.9.

Таблиця 1.8 - 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

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

1.5. Обладнання для фінішної очистки виливків

Обладнання для фінішної очистки виливків є важливим етапом у процесі ливарного виробництва, оскільки воно забезпечує видалення залишків формувальних матеріалів, окалини та інших забруднень з поверхні готових виробів. Це не лише покращує естетичний вигляд виливків, але й підвищує їх якість та експлуатаційні характеристики. Ось основні види обладнання, що використовуються для фінішної очистки виливків:

1. Галтувальні барабани:

- Використовуються для обробки виливків у спеціальних барабанах, де вони піддаються механічному впливу, що дозволяє видалити забруднення та покращити поверхню.

2. Обладнання для очищення виливків металевим дробом:

- Цей метод включає обробку виливків металевими частинками, які під високим тиском очищають поверхню від окалини та інших забруднень. Це забезпечує високу якість очищення.

3. Спеціальні способи очищення:

- Можуть включати використання хімічних розчинів або ультразвукових технологій для видалення забруднень, які важко усунути механічними методами.

4. Піскоструйні установки:

- Використовують струмінь абразивного матеріалу для очищення поверхні виливків. Це дозволяє досягти високої якості обробки та підготовки до подальшої обробки або покриття.

Фінішна очистка виливків є критично важливою для забезпечення їхньої якості та довговічності. Вибір конкретного обладнання залежить від типу виливків, матеріалу та вимог до їхньої обробки. Правильне використання цих технологій дозволяє досягти високих стандартів якості продукції.

2. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ВІДЛИВКА

2.1. Аналіз конструкції деталі і технічних умов на відливки

Відливки відносяться до XI класу точності за ГОСТ 26645 – 85, виготовляється із сталі 35Л ДСТУ 8781:2018 [1]. Різностінність не більше 1 мм, короблення не більше 1 мм, перекіс по роз'єму до 1 мм. На оброблюваних поверхнях допускаються одиничні раковини глибиною не більше 1/3 припуску на механічну обробку, шириною не більше 1/2 припуску, або мілкі раковини в кількості не більше 5 штук. На необроблюваних поверхнях допускаються одиничні раковини розміром не більше 3 мм, глибиною не більше 1 мм і в кількості не більше 5 штук на поверхню, які можуть бути виправлені шпаклюванням, або заварюванням. У місцях спряження стержня і форми допускається присутність кільцевих заусениць довжиною до 1,5 мм.

Деталь "Втулка КУН 04" представляє собою частину пристрою, який призначено для транспортування важких вантажів. Маса деталі 0,3 кг, габаритні розміри $\text{Ø}42 \times 48$ мм.

Оброблюваними поверхнями являються посадкові місця на вал. Інші поверхні не оброблюються. Даний відливок є технологічним. Зовнішні поверхні відливка представляють собою прямолінійні контури, з'єднані плавними переходами, які забезпечують деяку деформацію відливка при його усадці під час охолодження у формі і зниження залишкових напружень в місцях спряження прямолінійних ділянок. Відливок має один стержень, немає з'єднаних частин, роз'єм моделі і форми один.

2.2. Розробка модельно-ливарних вказівок

2.2.1. Визначення положення відливка у формі. Положення відливка у формі в період заливки вибираємо горизонтальним. Горизонтальна симетрична площина роз'єму моделі та форми проходить через вісь виливка, що спрощує

машинну формовку. Конструкція моделі не потребує знімних частин. Симетричне розташування відливка у верхній та нижній половинах форми забезпечує якісне заповнення форми, легке складання, надійну фіксацію стержнів, зручний контроль розмірів та безпроблемне вилучення моделі.

2.2.2. Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків. Розміри відливка відрізняються від розмірів готової деталі на величину припусків на механічну обробку. Величину припусків для сталі 35Л вибираємо по ГОСТ 26645-85. На кресленні межі припусків обводяться тонкою лінією (див. креслення деталі) і вказується величина припуску, яка по ГОСТ 26645-85 для даної деталі складає 2,5 мм [4].

Припуск на ливарну усадку виражається в процентах від розміру відливка. Значення величини ливарної усадки для сталі 35Л вибираємо з [2].

Для середніх відливоків вільна усадка рівна 2 %. Величину радіуса заокруглень вибираємо в межах $1/5 \dots 1/3$ середнього арифметичного товщини спряжених стінок. Для даного відливка радіус заокруглень складає 3 мм. Мінімальні радіуси заокруглень вибираємо із [3].

Радіуси заокруглень проставляємо на кресленні відливка (див. креслення деталі), не вказані радіуси вказуємо на вільному полі креслення.

Формівні ухили назначаємо в залежності від ливарних розмірів відливка і прийнятої технології виготовлення форми і стержня у відповідності з ГОСТ 3212-57. Величини мінімальних формівних ухилів вибираємо із [4]. Для даного відливка, величина ухилу складає 3° . Величини ухилів вказуємо на кресленні, не вказані ухили проставляємо на вільному полі креслення.

Розміри стержня вибирають з урахуванням припуску на механічну обробку і ливарну усадку (див. креслення деталі). Розміри стержньових знаків вибираємо у відповідності з ГОСТ 3606-57 із [3]. В залежності від номінального розміру отвору і відношення довжини отвору до цього розміру вибираємо горизонтальні знаки стержнів довжиною 16 мм [4].

Величину зазорів між знаками і формою вибираємо в залежності від максимального розміру стержня [4]. Для горизонтального знака бокові зазори рівні 0,1 мм, торцевий зазор 0,2 мм.

2.3. Розрахунок і конструювання ливникової системи

2.3.1. Визначення габаритних розмірів опоки. Вибір розміру опок залежить від розмірів відливок, їх кількості в одній формі, розмірів ливникової системи та розташування моделей на підмодельній плиті. Ефективність використання простору в опоці визначається коефіцієнтом металоємності, який показує, скільки металу використовується у формі по відношенню до маси формувальних та стержневих матеріалів. Цей коефіцієнт залежить від складності, товщини стінок та габаритів відливки та зазвичай знаходиться в діапазоні від 0,25 до 1,2.

Відстань між окремими моделями визначається як (0,3–0,5) від висоти h , де "h" — це висота моделі у верхній та нижній частинах форми, а також відстань від моделі до верхньої та нижньої границь форми. При заливці декількох виливків через спільну ливникову систему в одній опоці, відстань між ними в площині роз'єму повинна бути не менше 20–25 мм. Відстань від тіла відливка до стінок опоки становить 50–100 мм, а від стержневого знаку до бокової стінки опоки 0–50 мм.

У нашому випадку, відстань від моделі до верхньої та нижньої площин дорівнює 60...100 мм. Враховуючи використання автоматичної лінії A22821 та розміри опоки 500 x 400 x 100 мм, було вирішено розмістити 12 відливок в одній опоці.

2.3.2. Визначення оптимальної тривалості заливки. Ливникова система складається з послідовно з'єднаних між собою каналів 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];

δ – середня товщина стінок відливка, $\delta = 8$ мм;

C_1 – вага одного відливка з ливниковою системою, кг

$$C_1 = C_6 + 1,2 \cdot C_6 \quad (2.2)$$

$$C_1 = 0,3 + 0,36 = 0,66 \text{ кг}$$

Тоді:

$$t = 2 \cdot \sqrt[3]{8 \cdot 0,66} = 4,5 \text{ сек}$$

Середня швидкість рівня підйому металу у формі визначається по формулі:

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

$$V = \frac{42}{4,5} = 9,3 \text{ мм / сек.}$$

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;

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

g – прискорення вільного падіння, м/сек²;

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, $p = 21$ мм;

c – загальна висота відливка, $c = 42$ мм.

$$H_p = 100 - \frac{21^2}{42} = 89,5 \text{ мм} = 9 \text{ см}$$

$$\sum F_{\text{жс}} = \frac{0,51 \cdot 1000}{0,5 \cdot 4,5 \cdot 7,8 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 9}} = 1,28 \text{ см}^2$$

Так як відливок має два живильника, то:

$$F_{\text{жс}} = \frac{\sum F_{\text{жс}}}{2} = 0,64 \text{ см}^2$$

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

В зв'язку з тим, що в одній формі одночасно виготовляється 12 відлиwkів, то сумарна площа підживлювачів на форму складає:

$$\sum F_{\text{жс}} = 1,28 \cdot 12 = 15,36 \text{ см}^2$$

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

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

Площа поперечного перерізу стояка:

$$F_{\text{ст}} = \sum F_{\text{жс}} / 1,5 \quad (2.7)$$

$$F_{\text{ст}} = 15,36 / 1,5 = 9,5 \text{ см}^2$$

Оскільки:

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

Діаметр стояка:

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

$$d_{cm} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,5}{3,14}} = 3,3 \text{ см}$$

Приймаємо $d = 33$ мм.

Площа поперечного перерізу шлаковловлювача:

$$\sum F_{ш} = \sum F_c \cdot 1,2 = 9,5 \cdot 1,2 = 11,2 \text{ см}^2$$

Так як ливниково-живильна система має два шлаковловлювачі (один шлаковловлювач живить шість відливків), то площа перерізу одного шлаковловлювача:

$$F_{жс} = \frac{\sum F_{шс}}{2} = \frac{11,2}{2} = 5,6 \text{ см}^2$$

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

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 БР-131.25.06.01.00). При цьому, один підживлювач живить два виливка

2.4. Опис технологічного процесу виготовлення відливка

Втрати температури сталі під час випуску з плавильної печі, транспортування та переливу з ковша в ківш мають бути враховані при встановленні температури заливки форм. При випуску сталі з плавильної печі втрати температури коливаються від 20 до 40 °С, а під час переливу з ковша в ківш — від 30 до 50 °С.

Рекомендована температура заливки сталі становить 1550–1580 °С при середній товщині стінки відливки 8 мм, з урахуванням втрат тепла.

Під час заливки форми важливо контролювати рух розплаву з ковша у форму. На початку заливки ківш потрібно повертати плавно, без ривків, але досить швидко, щоб заповнити ливникову систему та чашу. Після заливки форми відливки охолоджуються і твердіють, переміщаючись разом з формою по рольгангам з ділянки заливки до ділянки вибивки. Протягом цього руху в відливках завершуються всі перетворення. Сталеві відливки слід вибивати при температурі 200 °С. Охолоджені форми направляються на ділянку вибивки.

Форма видавлюється на спеціальному обладнанні, де суміш і відливки видавлюються пресом на вібраційну решітку з нерухомої форми. Опки автоматично зіштовхуються з плитою ливарного конвеєра штовхачем, і форма видавлюється на вібраційну решітку, де руйнуються спресовані грудки суміші. Потім суміш транспортується по лотку на транспортер.

Відливки потрапляють у барабан для остаточного відділення від суміші. З барабанів відливки направляються на пластинчатий транспортер і подаються в очисне відділення для очищення, обрубки та обробки. Перед очищенням відливки оглядаються, брак видаляється і не підлягає очищенню.

Технологічний процес очищення відлиwkів включає такі операції:

- видалення стержнів із відлиwkів;
- відділення ливників та випарів;
- очищення відлиwkів від прилиплої формувальної суміші;
- остаточний контроль якості відлиwkів після очищення та обрубки.

Відливки зачищаються абразивними кругами для видалення заливів, заусениць, перекосів і нерівностей поверхонь. Обдирання відливок виконується на стаціонарних обдирочно-зачисних станках.

Контроль якості відливок здійснюється зовнішнім оглядом БТК цеху. Після виправлення виявлених недоліків проводиться повторний контроль якості. Грунтовка відливок виконується для захисту від корозії під час зберігання на складі та в процесі механічної обробки.

Перед фарбуванням відливки промиваються в двокамерній машині і сушаться теплим повітрям. Потім виконується грунтовка відливок шляхом занурення у ванну та просушування в камері при 60 °С протягом 10 хв. Після фарбування відливки направляються на склад готових виробів.

2.4.1. Формовка. Машинна формовка використовується для виготовлення основної частини форми. Машини автоматизують ключові процеси, такі як ущільнення та видалення моделі, а також інші операції. Процес формування в опоках включає наступні кроки:

Формувальна суміш подається в бункери, розміщені над формовочною машиною. Порожні опоки транспортуються рольгангами. Нижня та верхня напівформи виготовляються на окремих машинах. Опоки заповнюються формувальною сумішшю з бункера за допомогою дозатора. Після цього суміш ущільнюється, готову напівформу перевертають, видаляють надлишки суміші та обдувають форму. Далі напівформи транспортуються на ділянку збирання.

2.4.2. Збирання форм. Ключовим фактором, що впливає на точність геометричних розмірів відливки, є точність збирання форми. Процес збирання форми передбачає наступні етапи: складання форми та з'єднання верхньої та нижньої частин форми (спарювання опок).

2.4.3. Заливка форм. Температура заливки сталі має бути в межах 1550-1580°C. Заливка може виконуватися з рухомою або нерухомою формою. Розплавлений метал з індукційної печі спочатку надходить у попередньо нагрітий ківш барабанного типу ємністю 1 тонна, який транспортується краном. Цей ківш розміщується на спеціальному стенді для розподілу металу

в розливні ковші.

Для заливки використовуються ковші чайникового типу ємністю 250 кг. Перед заливкою з розливного ковша видаляють шлак. Ківш підводять і розміщують його носок над ливниковою чашею на відстані 150-200 мм. Під час заливки необхідно швидко заповнити ливникову чашу металом і підтримувати її заповненою до кінця процесу. Перелив чаші заборонено, допускається недолив не більше 20 мм. Заливка має бути безперервною. Після завершення заливки залишки металу зливаються у спеціальні форми.

2.4.4. Вибивка і обрубка. Після заливки та охолодження форми надходять на вибивання. Вібрація решітки сприяє руйнуванню формувальної суміші та відділенню відливок. Суміш просипається через решітку для подальшої переробки, а відливки переміщуються по пластинчастому конвеєру, де повністю охолоджуються. Потім відливки потрапляють в галтувальний барабан для видалення залишків суміші.

Далі відливки піддаються дробометній обробці для видалення пригару. Після цього ливниково-живильна система відрізається на дискових пилах, а заусенці зачищаються на наждачних верстатах.

На завершальному етапі відливки проходять контроль якості, включаючи проміжний контроль на різних етапах виробництва та кінцевий контроль. Перевіряються хімічний склад, структура, геометричні розміри, а також візуально оцінюються поверхневі дефекти.

2.5. Опис процесу проектування ливарної оснастки

У крупносерійному та масовому виробництві для забезпечення тривалого терміну служби моделей, їх виготовляють з металу. Металеві моделі отримують литтям у піщані форми за дерев'яними моделями (промоделями). Промоделі виготовляються з урахуванням припусків на механічну обробку моделі та відливки, а також з урахуванням усадки сплаву моделі. Моделі виготовляються

з сірого чавуну марки СЧ 20. Обробка моделей здійснюється вручну, припуск на механічну обробку відливки становить 1 мм. Товщина тіла моделі визначається за номограмою в залежності від габаритів моделі. Враховуючи невеликі габаритні розміри відливки, модель виготовляється суцільною. Після механічної обробки моделі монтуються на попередньо підготовлені промодельні плити. При монтажі напівмоделей на плити враховуються розміри опок, контур яких становить 500x400 мм. На плиті обидві промоделі розташовуються таким чином, щоб відстань від напівмоделей до країв була не менше 300 мм. Ливникова система монтується відповідно до креслення. Кріплення моделей і ливникової системи здійснюється за допомогою заклепок. Монтаж моделей на плитах виконується за допомогою монтажного шаблону з листової сталі товщиною 2...5 мм.

Модельні плити виготовляються з чавуну. Товщина плит становить 40 мм, щоб витримувати навантаження при формуванні. Робоча поверхня плит повинна бути оброблена. На підготовлені плити накладається монтажний шаблон, встановлюються напівмоделі та просвердлюються отвори для кріплення. Напівмоделі використовуються як кондуктори, отвори свердяться одночасно в плиті та в моделі. Потім плита з отворами накладається на іншу плиту, в якій також просвердлюються отвори. Напівмоделі кріпляться до плити гвинтами. Після кріплення моделей встановлюється ливникова система. До плити для нижньої напівформи кріпляться моделі живильників, а на плиту верху – моделі шлаковловлювачів і підживлювачів. Підмодельні плити повинні мати елементи спарювання з опоками: з одного боку – центрувальний, з іншого – направляючий штирі, а на другій плиті – відповідні отвори. Модельні плити кріпляться на формувальній машині за допомогою болтів.

Для виготовлення стержнів піскоструминним способом використовується алюмінієвий стержневий ящик. Заготовка ящика отримується литтям у піщані форми за дерев'яними моделями.

При виготовленні моделі ящика враховується усадка алюмінієвого сплаву, яка становить 1,25 %, а також припуск на механічну обробку, який при зачистці

становить 0,4 мм. Для визначення товщини тіла стержневого ящика необхідні габаритні розміри. Товщина стінок ящика визначається за номограмою. Для стержневих ящиків з алюмінієвих сплавів товщина стінок становить 10 мм. За таблицями визначаються товщина ребер жорсткості та радіус галтелей. При товщині стінок 10 мм, товщина ребер жорсткості також становить 10 мм, а радіус галтелей – 5 мм. Стержневий ящик відливається відповідно до розмірів та піддається механічній обробці. Площина роз'єму ящика шліфується для забезпечення якісного прилягання обох половин ящика. Половини ящика з'єднуються за допомогою штирів.

Для відведення повітря із формоутворюючої порожнини стержневого ящика при виготовленні стержня, використовуються спеціальні канали – венти. Розміри вент розраховуються виходячи із співвідношення:

$$\frac{F_{\text{вент}}}{F_{\text{вд.отв.}}} = 0,1 \div 0,9,$$

де $F_{\text{вент}}$ - сумарна площа вент;

$F_{\text{вд.отв.}}$ - сумарна площа вдувних отворів.

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \cdot F_{\text{вд.отв.}}$$

$$F_{\text{вд.отв.}} = \frac{\pi \cdot 26^2}{4} = 530 \text{ мм}^2$$

$$F_{\text{вент}} = 0,4 \cdot 530 = 210 \text{ мм}^2$$

Площа однієї венти при діаметрі 6 мм дорівнює 28 мм². Звідси для забезпечення щільної набивки стержня необхідно на один вдувний отвір діаметром 26 мм мати 7 вент. Застосовуємо щільовидні прорізи у вентах.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти розв'язане важливе технічне завдання розробки технології виготовлення виливка Втулка КУН 04 методом лиття в піщано-глинисту форму.

При розв'язанні даного завдання вирішено наступні задачі:

- описано характеристики матеріалів та обладнання, що використовуються в технологічному процесі виготовлення виливків;
- розроблено технічні умови та модельно-ливарні вказівки на виливок;
- розраховано і сконструйовано ливникову систему;
- описано технологічний процес виготовлення відливка;
- описано процес проектування ливарного оснащення.

У першому розділі обрано сплав Сталь 35Л як матеріал для виготовлення виливків. Описано його хімічний склад, механічні та ливарні властивості. Для плавлення сплаву використано індукційну тигельну піч типу ІСТ-016 з кислотою футеровкою, а також розглянуто принцип її роботи. Проведено розрахунок шихти методом підбору. Для виготовлення відливків обрана автоматична ливарна лінія А22821, де описано її будову, принцип роботи та технічні характеристики. Також вибрано стержневий автомат для виготовлення стержнів, а також матеріали та обладнання для приготування формувальних і стержневих сумішей. Описано функціонування очисного відділення.

У другому розділі проведено аналіз конструкції деталі та технічних умов на виливок. Розроблено модельно-ливарні вказівки та технічні умови на виливок, а також розраховано та спроектовано ливниково-живильну систему. Описано технологічний процес виготовлення виливка та процес проектування ливарної оснастки.

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

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