

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра Матеріалознавства та ливарного виробництва

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри М та ЛВ
к.т.н., доц. Олександр КУЗИК
(прізвище та ініціали)

«_____» _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

**«Розробка технологічного процесу виготовлення
вливка «Кришка» із сірого чавуну методом лиття в
піщано-глинисту форму»**

" Development of a technological process for manufacturing a
casting "Lid" from gray cast iron by casting in a sand-clay mold»

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

Валерій Шевченко

(прізвище та ініціали)

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

Керівник роботи: викл. кафедри МЛВ

Людмила Молокост

(прізвище та ініціали)

Рецензент:

к.т.н., доц.

Юрій Невдаха

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	6
1. Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей...	8
2. Характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок.....	10
3. Розробка технологічного процесу виготовлення виливка.....	12
3.1. Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.....	13
3.2. Визначення положення виливка у формі.....	15
3.3. Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків.....	17
4. Розрахунок і конструювання ливникової системи.....	22
4.1. Визначення габаритних розмірів опоки.....	22
4.2. Визначення оптимальної тривалості заливки.....	27
4.3. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.....	28
5. Опис технологічного процесу виготовлення виливка.....	30
5.1. Вибір формувальної та стержнєвої суміші.....	31
5.2. Виготовлення та підготовка ливарних форм.....	34
5.3. Виготовлення та встановлення стержнів.....	35
6. Опис процесу проектування ливарного оснащення.....	36
ЗАКЛЮЧЕННЯ.....	37
ЛІТЕРАТУРА.....	38
ДОДАТКИ.....	

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на 41 стор. друкованого тексту і містить 5 рис., 13 таблиць і 30 літературних посилань.

У пояснювальній записці приведено аналіз конструкції «Кришки», розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Кришка». На основі аналізу креслення деталі обґрунтовано вибір матеріалу, площини роз'єму ливарної форми та орієнтації моделі. Спроектовано ливниково-живильну систему з трапецієподібними шлаковловлювачами та живильниками, виконано розрахунок основних технологічних параметрів лиття.

Розроблено конструкцію ливниково-живильної системи та виконано її інженерний розрахунок, що включає визначення оптимальної тривалості заливки, площі поперечних перерізів ливникових каналів і параметрів живильників. У роботі наведено вибір і технічну характеристику основного технологічного обладнання, зокрема плавильного, формувального, стержневого та очисного, а також описано технологію виготовлення ливарних форм і стержнів. Розроблено технологію виготовлення вилівка та описано процес проектування ливарної оснастки. Запропоновані технічні рішення забезпечують отримання якісних виливків і можуть бути використані в умовах серійного виробництва.

Об'єкт дослідження є технологічний процес виготовлення чавунного виливка «Кришка» вагою 3,15 кг литтям у піщану форму.

Предмет дослідження є методи проектування ливарної оснастки та параметри технологічного процесу виготовлення виливка «Кришка» із сірого чавуну [1, 2, 5].

Запропоновані технічні рішення спрямовані на забезпечення отримання виливків заданої якості, зниження рівня браку та підвищення ефективності ливарного виробництва.

Ливарне виробництво, виливок, припуски, напуски, модельний комплект, піщані форми, ливниково-живильна система.

ABSTRACTS

The explanatory note is presented on pages of printed text and contains 1 figures, 10 table, and 16 references.

The explanatory note provides an analysis of the design of the "Lid", a technological process for manufacturing the "Lid" part has been developed. Based on the analysis of the part drawing, the choice of material, the plane of the mold connector, and the orientation of the model have been justified. A sprue-feeding system with trapezoidal slag traps and feeders has been designed, and the main technological parameters of casting have been calculated.

The design of the sprue-feeding system has been developed and its engineering calculation has been performed, which includes determining the optimal pouring duration, cross-sectional areas of the sprue channels and feeder parameters. The paper presents the selection and technical characteristics of the main technological equipment, in particular melting, molding, core and cleaning equipment, and also describes the technology for manufacturing casting molds and cores.

The technology of casting production has been developed and the process of designing foundry equipment has been described. The proposed technical solutions ensure the production of high-quality castings and can be used in serial production. The object of the study is the technological process of manufacturing a cast-iron casting "Lid" weighing 3.15 kg by sand casting.

The subject of the study is the methods of designing foundry equipment and the parameters of the technological process of manufacturing a casting "Lid" from gray cast iron [1, 2, 5].

The proposed technical solutions are aimed at ensuring the production of castings of the specified quality, reducing the level of defects and increasing the efficiency of foundry production.

Foundry production, casting, allowances, overhangs, model kit, sand molds, sprue-feeding system, automatic molding line

ВСТУП

Ливарне виробництво є одним із базових процесів машинобудування, що забезпечує виготовлення складних за формою деталей із різних металів і сплавів. Особливе місце в сучасному виробництві займає лиття сірого чавуну, який завдяки добрим ливарним властивостям, достатній міцності та економічності широко застосовується для виготовлення корпусних деталей машин і механізмів [1,4].

Для виготовлення таких деталей широко застосовується сірий чавун марки СЧ18, який характеризується добрими ливарними властивостями, достатнім рівнем міцності, високою вібро- та зносостійкістю, а також доброю оброблюваністю різанням [3, 5]. Використання автоматичних формувальних ліній у ливарному виробництві дозволяє підвищити стабільність якості виливків, зменшити вплив людського фактора та забезпечити ритмічність і відтворюваність технологічного процесу.

Підвищення вимог до якості виливків, зниження собівартості продукції та впровадження автоматизованих ливарних ліній зумовлюють необхідність удосконалення технологічних процесів і раціонального проектування ливарної оснастки. Від правильності вибору матеріалу, формувальних сумішей, ливниково-живильної системи та обладнання залежить стабільність виробництва й експлуатаційні властивості деталей [9,15].

Метою бакалаврської роботи є розробка технологічного процесу виготовлення виливка «Кришка» із сірого чавуну СЧ18 у піщані форми з розрахунком основних технологічних показників лиття.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати конструкцію виливка та умови його виготовлення;
- обґрунтувати вибір матеріалу виливка та способу формування;
- розробити конструкцію ливниково-живильної системи та виконати її розрахунок;

- вибрати основне технологічне обладнання для виготовлення ливарних форм, стержнів і плавлення металу;
- описати технологію виготовлення вилівка та процес проектування ливарної оснастки.

Об'єктом дослідження є технологічний процес виготовлення чавунних вилівоків у піщані форми.

Предметом дослідження є методи проектування ливарної оснастки та параметри технологічного процесу виготовлення вилівка «Кришка» із сірого чавуну.

1. Обґрунтування вибору матеріалу вилівка «Кришка» та його властивості

Матеріал для вилівка підбираю на основі умов праці та вимог до нього. Розглянуто декілька варіантів матеріалів для виготовлення Кришки. Кришка працює у звичайних умовах (незначні статичні чи динамічні навантаження, неагресивне середовище, нормальні температури), сірий чавун СЧ18 — оптимальний вибір: добра рідкотекучість, технологічність, низька вартість і легкість обробки. У таблицях 1,2,3 наведені порівняльні характеристики чавунів, їх хімічний склад, технологічні параметри лиття.

Таблиця 1 - Порівняльні властивості чавунів (СЧ18, СЧ20, СЧ25 та високоякісний ковкий чавун)

Марка матеріалу	Форма графіту	Межа міцності при розтягу Rm, МПа	Твердість, НВ	Пластичність (δ, %)	Ударна в'язкість (КСУ), Дж/см ²	Литість	Механічна оброблюваність	Примітка
СЧ18	Пластинчастий	180–240	130–200	0.5–1.0	низька	дуже добра	добра	Оптимальний варіант для простих кришок, корпусів, плит.
СЧ20	Пластинчастий	200–260	140–210	0.7–1.2	низька	дуже добра	добра	Краща міцність при тій самій

					середн я	а		технологічності.
СЧ25	Пластин частий	250– 320	170– 240	1.0– 1.5	середн я	добр а	середня	Для більш навантажених вузлів, корпусів компресорів, насосів.
Ковкий чавун (ВЧ/Е N-GJS)	Пластів частий	370–500+	140– 280	5– 15	висока	гірша , ніж у СЧ	добра/ задо- вільна	Висока в'язкість, для ударних та динамічних навантажень.

Таблиця 2 - Порівняльна характеристика хімічного складу для чавунів, %

Марка	C	Si	Mn	P	S	Особливості
СЧ18	3.2– 3,6	1,8– 2,6	0,3– 0,6	≤0,2	≤0,12	Хороша графітизація, низька міцність, відмінна литість.
СЧ20	3,0– 3,6	1,7– 2,5	0,4– 0,7	≤0.2	≤0,12	Трохи краща перлітність — вища міцність.
СЧ25	3,0– 3,5	1,3– 2,3	0,5– 0,9	≤0,15	≤0,1	Більший вміст Mn → більше перліту → більша твердість.
Ковкий чавун	3,4– 3,8	2,3– 2,8	≤0,5	≤0,1	≤0,02	Потрібна магнієва модифікація для сферичного графіту.

Таблиця 3 - Технологічні параметри лиття для різних видів марок чавуну

Марка	Температура заливання, °C	Лінійна усадка, %	Мінімальна товщина стілки	Особливості формування
СЧ18	1150–1250	1,0–1,2	6–8 мм	Найменший ризик гарячих тріщин, відмінне заповнення.
СЧ20	1180–1260	1,0–1,2	6–7 мм	Можливе більше перлітне зерно — переносить навантаження краще.
СЧ25	1200–1280	1,0–1,3	5–7 мм	Слід забезпечити добру вентиляцію, бо швидше твердне.
Ковкий чавун	1280–1380	1,0–1,4	4–6 мм	Чутливий до температури заливки, потребує ретельного шлакування.

Сірий чавун добре заповнює складні форми, менше ризику пустот у тонких ділянках – має гарну рідкотекучість. Його легше формувати й очищати, простіший контроль дефектів, дешевше за ковкий/леговані сплави. Придатність для механічної обробки — нормальні допуски та шорсткість досяжні при помірних припусках (1.5–3 мм по оброблюваних поверхнях); Звичайні експлуатаційні характеристики підходять для кришок, які не несуть великих ударних навантажень чи підвищених температур матеріалу для виготовлення виливка «Кришка» .

Для виготовлення виливка «Кришка» вибираємо сірий чавун марки СЧ18 згідно з вимогами ДСТУ 8833:2019 .

Сірий чавун широко застосовується для деталей машин, що працюють без значних ударних навантажень, але потребують достатньої жорсткості, стабільності розмірів, доброї оброблюваності різанням та високими ливарними властивостями [2].

СЧ18 характеризується перлітно-феритною металевою основою з пластинчастим графітом, що забезпечує високі ливарні властивості, малу схильність до утворення внутрішніх напружень та добру заповнюваність форми. Наявність пластинчастого графіту знижує внутрішні напруження у виливку, що дозволяє в багатьох випадках відмовитись від обов’язкової термічної обробки [3]. Тимчасовий опір розриву для СЧ18 становить не менше 180 МПа, що є достатнім для забезпечення експлуатаційної надійності кришки.

Таблиця 4 - Порівняльна характеристика СЧ18 і СЧ20

Параметри	СЧ18	СЧ20
Тимчасовий опір розриву, МПа	≥180	≥200
Твердість, НВ	~170–210	~180–220
Ливарні властивості	дуже добрі	дуже добрі
Усадка,	1,0	1,0-1,1
Оброблюваність	трохи краща	трохи гірша
Температура заливання, °С	1350–1400 °С	1380–1420 °С

Використання СЧ18 сприяє зниженню зносу різального інструменту при подальшій механічній обробці.

2. Характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок

Для кришки із сірого чавуну СЧ18 (за ДСТУ 8833:2019) застосовують такі характеристики та класи точності: клас точності виливків становить 9–10 (позначається 10-4-14-10).

Для виготовлення виливка «Кришка» обрано спосіб лиття у разову піщано-глинисту форму з використанням стержнів. Даний спосіб є економічно доцільним для серійного виробництва, забезпечує достатню точність розмірів і якість поверхні для чавунних корпусних деталей.

Допускаються одиничні ливарні раковини в кількості 5 шт. розмірами не більше 5 мм та глибиною до 2 мм. На поверхнях які не оброблюються допускаються раковини глибиною до 9 мм та глибиною 4 мм. Ливарні ухили виконуємо в межах $1...3^{\circ}$ (зовнішні $1^{\circ}30'$, внутрішні 3°), Неуказані ливарні радіуси скруглено виконуємо 2...3 мм. На оброблювальних поверхнях деталі раковини, пористості та шлакові включення не допускаються.

На поверхнях, що обробляються, дозволяються ливарні дефекти, окрім тріщин, глибиною менш $2/3$ величини припуску на механічну обробку. На необроблених поверхнях ливарні дефекти зачистити в межах допусків на розмір.

Деталь «Кришка» має найбільший діаметр 196 мм, товщина фланця 13 мм, загальна довжина 72 мм. Маса готової деталі 3,15 кг.

Для найбільшого габариту 196 мм та класу точності 9, загальний припуск на сторону становить приблизно 3.0...3,5 мм на торцеві та циліндричні поверхні. На отворах \varnothing 8 мм 8 шт. робимо напуски для технологічності, та ще 2 отвори \varnothing 16 мм.

Оброблюваними поверхнями є зовнішня і торцева поверхні. Останні поверхні необроблювані. Даний виливок являється технологічним. Виливок має

один стержень, роз'єм моделі та форми теж один. Внутрішній \varnothing 30,6 мм товщиною ділянки 72 мм.

3. Розробка технологічного процесу виготовлення виливка

3.1. Вибір та призначення припусків на механічну обробку

При проектуванні технологічного процесу виготовлення виливка «Кришка» необхідно передбачити припуски на механічну обробку, які забезпечують видалення ливарної кірки, поверхневих дефектів та досягнення необхідної точності і шорсткості оброблюваних поверхонь [4].

Величина припусків залежить від матеріалу виливка, способу формування, габаритних розмірів деталі та вимог креслення. Для виливків із сірого чавуну СЧ18, отриманих у піщаних формах, рекомендується приймати припуски відповідно до вимог ДСТУ та галузевих рекомендацій [5].

Згідно з кресленням, механічній обробці підлягають: - торцева поверхня кришки;

- посадочна циліндрична поверхня;
- поверхні під кріпильні елементи.

Для виливка прийнято такі припуски: на оброблювані плоскі поверхні — 2,5 мм на сторону; на циліндричні поверхні діаметром до 100 мм — 2,0 мм на сторону; на отвори, сформовані стержнями — 1,5 мм на сторону.

Прийняті значення припусків забезпечують отримання чистових розмірів деталі після механічної обробки та не призводять до надмірного перевитрачання металу.

Таблиця 5 – Припуски на механічну обробку виливка

Поверхня	Характер поверхні	Припуск на сторону, мм
Торцева	плоска	2,5
Посадочна	циліндрична	2,0
Отвори	під стержні	1,5

Прийняті припуски відповідають вимогам точності, передбаченим кресленням деталі, та забезпечують стабільну якість готового виробу [4,5].

3.2. Вибір уклонів, заокруглень внутрішніх і зовнішніх кутів, стержневих знаків та напусків

При проектуванні виливка «Кришка» важливим етапом є призначення технологічних уклонів, заокруглень кутів, стержневих знаків та напусків, які забезпечують можливість формування деталі у піщаній формі без пошкодження моделі та форми, а також підвищують якість поверхні виливка [6].

Для виливків із сірого чавуну, що виготовляються у піщаних формах, величина уклонів залежить від висоти формувальної поверхні та способу формування. Згідно з нормативними рекомендаціями, для машинної формовки приймаємо такі значення уклонів [7]: - для зовнішніх вертикальних поверхонь — 1° – $1,5^{\circ}$; для внутрішніх поверхонь — $1,5^{\circ}$ – 2° .

Прийняті значення забезпечують легке витягування моделі з форми без порушення її стінок та відповідають геометрії деталі за кресленням.

Гострі кути у виливках є концентраторами напружень і можуть призводити до утворення тріщин та усадочних раковин. Тому внутрішні і зовнішні кути виливка повинні бути заокруглені [6].

Для даного виливка приймаємо: - радіус внутрішніх заокруглень — $R = 4$ – 6 мм; - радіус зовнішніх заокруглень — $R = 3$ – 5 мм.

Зазначені радіуси забезпечують плавний перехід між поверхнями, покращують заповнення форми металом та сприяють зменшенню внутрішніх напружень у виливку.

Отвори та внутрішні порожнини виливка «Кришка» формуються за допомогою піщаних стержнів. Для точного встановлення та фіксації стержнів у формі передбачено стержневі знаки [8].

Стержневі знаки виконуються: - симетрично відносно осі деталі;

- з припуском на усадку та механічну обробку; - з довжиною, що забезпечує стійке положення стержня під час заливки.

Форма і розміри стержневих знаків відповідають конфігурації отворів згідно з кресленням.

Для забезпечення цілісності виливка та компенсації можливих відхилень під час формування на окремих поверхнях передбачаються технологічні напуски. Напуски після затвердіння металу видаляються під час механічної обробки [7].

3.3. Вибір площини роз'єму та положення виливка у ливарній формі

Вибір площини роз'єму ливарної форми є одним із головних етапів проектування технологічного процесу виготовлення виливка, оскільки від нього залежить якість формування, точність геометричних розмірів та зручність збирання форми [6,9].

Для виливка «Кришка» площину роз'єму прийнято горизонтальною, що обумовлено конструктивними особливостями деталі та її симетрією відносно основної площини. Такий вибір забезпечує простоту формування, рівномірний розподіл формувальної суміші та надійне закріплення стержнів у формі.

При горизонтальному роз'ємі: зменшується кількість підрізів; спрощується конструкція модельної оснастки; забезпечується стійке положення стержнів під час заливки металу; полегшується розміщення ливниково-живильної системи у нижній півформі [7,10] .

Виливок у формі розміщується таким чином, щоб найбільш масивні елементи деталі знаходилися у нижній півформі, що сприяє напрямленій кристалізації та зменшенню усадочних дефектів.

Ливникова система при цьому підводиться знизу, що забезпечує спокійне заповнення форми та знижує ймовірність захоплення шлаку і газів [8].

Прийняте положення виливка у формі повністю відповідає вимогам креслення, забезпечує технологічність процесу лиття та дозволяє реалізувати автоматизоване формування на опочній ливарній лінії.

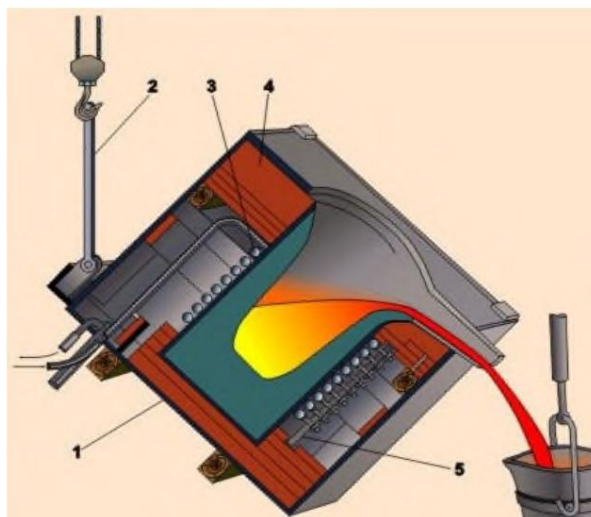
3.4 Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.

Для плавлення сплаву СЧ18 обраємо індукційну тигельну піч середньої частоти ІСТ- 1,0. Технічна характеристика індукційної печі марки ІСТ -1,0 приведені у таблиці 6.

Таблиця 6 - Основні технічні характеристики індукційної печі ІСТ-1,0

Тип печі	Ємність печі, т	Температура плавлення, °С	ККД, %	Потужність перетворювача, кВт	Швидкість розплавлення, перегрівання металу	Витрати води на охолодження, м ³ /год	Питомі витрати електроенергії кВт·г/т	Тип перетворювача
Тигель на ІСТ 1,0/0,8	1,0	1600	85-90	800	1,2	14,0	610	ТПЧ 800-1,0

Індукційна піч дозволяє здійснювати плавлення з мінімальними втратами металу забезпечує однорідність розплаву перед заливання, відбувається інтенсивне перемішування металу, що призводить до рівномірного розподілу температури та хімічних елементів. (рис. 1)



1 - каркас печі; 2 - механізм перекидання; 3 - водоохолоджуваний індуктор; 4 - футерівка печі (тигель); 5 - струмопідведена шина

Рисунок 1 - Схема індукційної тигельної печі типу ІСТ-1

При переливанні чавуну із індукційної печі в ківш слід враховувати втрати температури при переливі. 20-40⁰С складають втрати температури при

випуску чавуну із печі, а 30 -50⁰ С – при переливанні із ковша в ковш. Рекомендована температура чавуну при заливанні приблизно складає 1460 – 1340⁰С.

Виливок «Кришка» можна виготовити на таких автоматичних лініях: DISA ARPA 300 та HWS. Обидві лінії призначені для виготовлення невеликих і середніх чавунних виливків у опоках та забезпечують високу якість ущільнення форм. Оптимальний розмір опоки для моделі ARPA 300 становить близько 500×500×200 мм, продуктивність — до 45 форм за годину, а опочна автоматична ливарна лінія типу HWS (Hess–Wiemann–Sanders) має розмір опок 500x400x150 мм, продуктивністю 140 форм/г. Для виливка з розмірами 196x80 мм підбираємо автоматичну ливарну лінію типу HWS (Hess–Wiemann–Sanders). Дана лінія широко застосовується у серійному та масовому виробництві виливків із сірого чавуну та характеризується високим рівнем автоматизації, стабільною якістю форм та продуктивністю [17].

Ливарна лінія HWS призначена для машинної формовки у піщано-глинистих із застосуванням стандартних опок. Лінія забезпечує точне формування півформ, їх збирання, транспортування та підготовку до заливки металом [18].

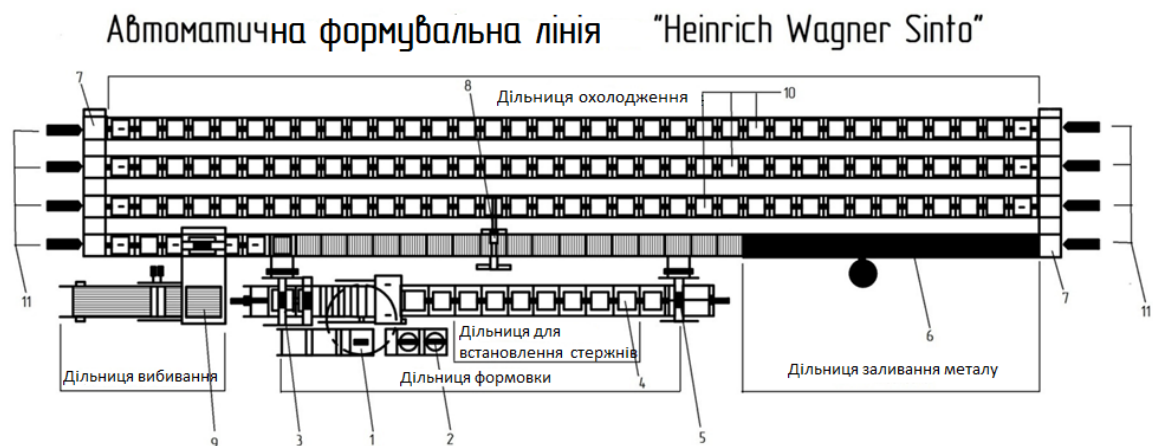
Вибір даної лінії зумовлений такими факторами: можливістю використання опок розміром 500 × 400 мм; придатністю для виготовлення форм із горизонтальною площиною роз'єму; сумісністю з ливниково-живильною системою, прийнятою для даного виливка; високою повторюваністю розмірів і зниженням впливу людського фактора [17]. Основні технічні характеристики опочної ливарної лінії типу HWS наведено нижче у табл.7.

Таблиця 7 - Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії HWS

№ п/п	Показник	Значення
1	Тип лінії	Автоматична опочна формувальна
2	Площина роз'єму	Горизонтальна
3	Матеріал форм	Піщано-глиняста формувальна

		суміш
4	Розміри опок	400×400; 500×400 ; 500×500 мм
5	Максимальна маса виливка	до 10–15 кг
6	Продуктивність	80–200 (140) форм/год
7	Тип ущільнення суміші	Імпульсно-вібраційне трамбування
8	Клас точності виливків	СТ10–СТ12
9	Шорсткість поверхні	Rz 40–80
10	Можливість встановлення стержнів	Передбачена
11	Рівень автоматизації	Високий

Лінія забезпечує стабільну якість форм, точне суміщення півформ та можливість інтеграції з автоматизованими системами заливки і транспортування виливків.



1 - двохпозиційний повітряно-персовий автомат; 2 - механізм зміни модельних плит; 3 - перестановщик і розпакувальник опок; 4 - кантувач напівформ; 5 - установка збирання форм; 6 - ділянка заливання форм металом; 7 - транспортний візок; 8 - механізм очищення візка; 9 - установка вибивання форм; 10 - лінії охолодження форм після заливання; 11 - гідравлічні штабхачі та амортизатори пересування форм.

Рисунок 2 - Автоматична формувальна ливарна лінія HWS

Принцип роботи опочної ливарної лінії HWS полягає у послідовному виконанні операцій формування, збирання та підготовки ливарних форм до заливання [18].

Процес роботи лінії включає такі основні етапи:

1. подача опоки на формувальну позицію;
2. встановлення модельної плити;
3. засипання формувальної суміші та її ущільнення;

4. витягування моделі;
5. формування верхньої та нижньої півформ;
6. збирання ливарної форми;
7. транспортування форми до позиції заливки..

Опочна автоматична формувальна лінія HWS працює у безперервному або циклічному режимі та забезпечує повністю механізований і автоматизований процес виготовлення піщано-глинистих ливарних форм для серійного виробництва виливків [18]. Робота лінії здійснюється у чітко визначеній послідовності технологічних операцій.

1. На першому етапі здійснюється подача порожніх верхніх і нижніх опок розміром 500×400 мм на формувальну позицію. Опoki очищаються від залишків формувальної суміші та покриваються розділювальним складом для запобігання прилипанню суміші до стінок опоки [19].
2. На другому етапі відбувається встановлення модельної плити з моделями виливків і елементами ливникової системи. Формувальна суміш подається в опоку автоматично, після чого виконується ущільнення суміші методом пресування або комбінованим способом, що забезпечує високу щільність і міцність напівформ [20].
3. Після формування нижньої та верхньої напівформ здійснюється їх розкриття, автоматичне виймання модельної плити та контроль якості поверхні форм. На наступній позиції в нижню напівформу встановлюються заздалегідь виготовлені стержні, які формують внутрішні порожнини виливка «Кришгf» [21].
4. Після встановлення стержнів відбувається складання форм — верхня і нижня напівформи з'єднуються між собою з необхідною точністю, що забезпечує правильне суміщення ливникової системи та порожнин виливка. Зібрані форми транспортуються по конвеєру до позиції заливання [22].
5. Заливання форм розплавленим чавуном СЧ18 здійснюється автоматично або напівавтоматично за допомогою заливальної установки,

синхронізованої з роботою формувальної лінії. Температура та швидкість заливання контролюються автоматично для забезпечення повного заповнення форм і запобігання утворенню дефектів лиття [23].

- б. Після заливання форми переміщуються у зону охолодження, де виливки витримуються до повного затвердіння металу. Далі форми надходять на вибивання, де здійснюється руйнування піщано-глинистої форми та відділення виливків від формувальної суміші. Формувальна суміш направляється на регенерацію та повторне використання [24].

Застосування автоматичної опочної формувальної лінії HWS дозволяє забезпечити стабільну якість ливарних форм, високу продуктивність і повторюваність технологічного процесу, що є визначальним фактором при серійному виготовленні виливків типу «Кришка» [25].

Автоматизація більшості операцій дозволяє забезпечити високу продуктивність та стабільну якість форм, що особливо важливо при серійному виробництві виливків [19].

Для виготовлення стержнів, що формують внутрішні порожнини виливка «Кришка», прийнято стержневу машину для холоднотвердіючих сумішей (ХТС). Даний тип обладнання забезпечує високу точність стержнів, добру якість поверхні та достатню міцність під час заливки металу [20].

Стержнева машина ХТС моделі СВ25 фірми SHS-MET працює за принципом ущільнення стержневої суміші у металевому стержневому ящику з подальшим твердненням за рахунок хімічної реакції зв'язуючого. Такий метод широко застосовується у сучасному ливарному виробництві для виготовлення стержнів складної конфігурації [21]. Технічна характеристика приведена у табл.8.

Таблиця 8 - Технічна характеристика стержневої машини СВ25

Параметри	Одиниці	Значення
Найбільша маса стержнів	кг	25,0
Тип суміш		холоднотвердіюча
Продуктивність стержнів	год	120...150
Розміри стержневих	мм	500 × 550 × 500

ящиків		
Максимальні габарити стержнів	мм	До 500
Габаритні розміри машини	мм	2100 × 1850 × 3150
Вага	т	3,850

Перевагами застосування ХТС-стержневої машини є: висока точність геометрії стержнів; можливість механізації процесу; зменшення кількості дефектів у виливках; сумісність з автоматизованими ливарними лініями 20.

У напівформи стержні встановлюють вручну, за допомогою розпаковщика опок ІС-10-001 напівформа верха з'єднується з нижньою напівформою. Заливка форми відбувається автоматичним заливщиком. Перед заливкою чавун проходить очищення від шлакових включень. Після заливання виливок проходить охолодження та застигає разом з формою, рухається до ділянки вибивання виливок. Температура виливки при вибиванні становить 400⁰С. Форма вибивається на установці, при цьому виливки та суміш видавлюються пресом на решітку, спресовані грудки руйнуються. Для вибивання виливків із форми використовується вибивна установка вібраційного типу, яка забезпечує ефективне руйнування формувальної суміші без пошкодження виливка.

Для очищення поверхні виливків застосовуються: галтувальний барабан — для видалення залишків суміші; дробометна камера — для очищення поверхні від окалини та пригару. Технічна характеристика галтувального барабану наведено в табл.9.

Таблиця 9 – Технічна характеристика галтувального барабану моделі 41212

Назва характеристики	Одиниці	Значення
Продуктивність	т/год	5...7
Найбільша маса виливків, які очищуються	кг	40
Габаритні розміри	м	7,648 × 2,528 × 2,440
Маса	кг	15210
Потужність	кВт	55

Далі виливки оглядаються, видаляється брак, виливки рухаються по транспортеру в очисне відділення, де очищаються, проходять обрубку. Тут відбуваються такі операції як: видалення стержнів, видалення ливниково-живильної системи та випорів.

Для очищення поверхні від окалини та пригару використовується дробометний барабан моделі 42223, технічна характеристика якого приведена у табл.10.

Таблиця 10 – Технічна характеристика дробометного барабану моделі 42322М

Назва характеристики	Одиниці	Числове значення
Об'єм завантаження	м ³	0,3
Продуктивність барабану по викиданню дробу	кг/хв	250
Максимальна вага виливки, що оброблюються	кг	80
Максимальна вага завантаження барабана	кг	800
Максимальні габарити виливка по діагоналі	мм	700
Кількість відсмоктуємого повітря	м ³ /год	12200
Потужність електродвигунів	кВт	65
Габаритні розміри барабану (Діаметр, довжина, висота)	мм	4500 × 4000 × 6050
Розмір робочого простору барабана (діаметр довжина)	мм	9000X1120
Режим роботи		Поопераційний, полуавтоматичний
Маса	кг	15000



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд дробометного барабану

Зачищення поверхні виливка здійснюється на зачистному верстаті абразивного типу. Застосування такого обладнання дозволяє отримати чисту поверхню та підготувати виливок до механічної обробки.

4. Розрахунок і конструювання ливникової системи

Ливникова система забезпечує підведення металу до порожнини форми з необхідною швидкістю та створює умови для рівномірної кристалізації виливка. Її параметри визначаються з урахуванням габаритів деталі, властивостей сплаву та способу формування [4].

4.1. Визначення габаритних розмірів і конструкції опок

Розміри та конструкція опок визначаються габаритами виливка, кількістю виливків у формі, розташуванням ливниково-живильної системи та умовами формування на автоматизованій ливарній лінії [9,11].

Згідно з кресленням, виливок «Кришка» має порівняно компактні габаритні розміри та масу 3,15 кг. З метою підвищення продуктивності процесу лиття та раціонального використання формувальної суміші у формі передбачено розміщення двох виливків.

Для забезпечення вільного розміщення моделей, ливникової системи та живильників прийнято опоку розміром 500 × 400 мм. Вибір таких габаритів дозволяє:

- розмістити два виливки без порушення мінімальних відстаней між ними;
- забезпечити необхідну товщину формувальної суміші між елементами форми;
- реалізувати раціональну схему ливниково-живильної системи з підводом металу до кожного виливка [10].

Конструкція опоки передбачає використання стандартних верхньої та нижньої півопок із замковими елементами для точного суміщення.

Горизонтальна площина роз'єму забезпечує простоту складання форми та сумісність з опочною автоматичною ливарною лінією типу HWS.

Прийняті розміри та конструкція опок повністю відповідають вимогам технологічного процесу, забезпечують стабільну якість формування та дозволяють здійснювати виготовлення виливків у серійному виробництві.

Ливникова система для виливка «Кришка» проєктується з урахуванням конструкції деталі, маси виливка, горизонтальної площини роз'єму форми та виготовлення у піщаних формах на опочній автоматичній лінії. Згідно з кресленням, передбачено виготовлення двох виливків в одній формі, що враховано при розрахунках.

4.1. Розрахунок технологічних показників лиття

Масу виливка визначають за об'ємом деталі та густиною сірого чавуну.

Маса виливка визначається за формулою:

$$m = V \cdot \rho, \quad (4.1)$$

де V — об'єм виливка, см^3 ;

ρ — густина матеріалу сірого чавуну СЧ18, $\rho = 7,2 \text{ г/см}^3$.

Об'єм виливка визначається за кресленням деталі з урахуванням припусків на механічну обробку та ливарних ухилів.

$$V = \frac{m}{\rho}, \quad (4.2)$$

$$V = \frac{3150}{7.2} \approx 437,5 \text{ см}^3,$$

Маса ливниково-живильної системи для чавунних виливків у піщано-глинистих формах зазвичай становить 30–60 % від маси виливка. Для даного виливка приймається середнє значення.

Коефіцієнт виходу придатного визначається за формулою:

$$\eta = m_{\text{в}} / (m_{\text{в}} + m_{\text{л}}), \quad (4.3)$$

де $m_{\text{в}}$ — маса виливка – 3150 г;

$m_{\text{л}}$ — маса ливниково-живильної системи, 1575 г.

$$\eta = 3150 / (3150 + 1575) = 3150 / 4750 = 0,663$$

Отримане значення коефіцієнта виходу придатного дозволяє оцінити економічну ефективність обраної технології лиття.

Маса рідкого металу, що заливається:

$$m_{\text{зал.}} = \frac{m_{\text{вил.}}}{\eta} \quad (4.4)$$

$$m_{\text{зал.}} = \frac{m_{\text{вил.}}}{\eta} = \frac{3,150}{0,66} = 4,77 \text{ кг}$$

4.2 Розрахунок оптимальної тривалості заливки

Розрахунок ливникової системи виконується з метою забезпечення безперервного, спокійного заповнення форми розплавленим металом, мінімізації окиснення та ефективного відокремлення неметалевих включень.

Тривалість заливки виливка приймаємо рівною 7 с, що відповідає рекомендованим значенням для виливків масою до 5 кг та забезпечує спокійне заповнення форми без утворення завихрень і захоплення шлаку (табл.11).

Таблиця 11 - Рекомендована тривалість заливання для сірого чавуну

Маса виливка, кг	Рекомендована тривалість
до 5 кг	5–8 с
5–10 кг	8–12 с

Маса одного виливка: $G_{\text{в}} = 3,15 \text{ кг}$

Кількість виливків у формі: $n = 2 \text{ шт.}$

Загальна маса металу:

$$G_{\Sigma} = 3,15 \cdot 2 = 6,3 \text{ кг}$$

Щільність рідкого чавуну:

$$\rho = 7,2 \text{ г/см}^3 \text{ або } \rho = 7200 \text{ кг/м}^3$$

прийнята тривалість заливки $t = 7 \text{ с}$

$$t = \frac{G}{\rho \cdot Q}, \quad (4.5)$$

або
$$Q = \frac{G}{\rho \cdot t} \quad (4.6)$$

$$Q = \frac{3150}{7,2 \cdot 7} = \frac{3150}{50,4} \approx 62,5 \text{ см}^3/\text{с}$$

Об'єм металу

$$V = \frac{G_{\Sigma}}{\rho} = \frac{6300}{7,2} \approx 875 \text{ см}^3,$$

Витрата металу

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{875}{7} \approx 125 \text{ см}^3/\text{с},$$

Загальна площа перерізу ливникової системи

$$F_{\Sigma} = \frac{Q}{\mu \sqrt{2gH}} \quad (4.7)$$

$$\sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,25} \approx 2,21 \text{ м/с}$$

$$F_{\Sigma} = \frac{127}{0,4 \cdot 2,21} \approx \frac{127}{88,4} \approx 1,44 \text{ см}^2$$

4.3 Визначення площі перерізу каналів ливникової системи

Об'єм металу вилівка визначається за формулою:

$$V = m / \rho \quad (4.8)$$

де ρ — густина сірого чавуну, $\rho = 7200 \text{ кг/м}^3$.

$$V = 3,15 / 7200 = 0,00444 \text{ м}^3 = 444 \text{ см}^3$$

Витрата металу:

$$Q = V / t = 888 / 7 = 126 \text{ см}^3/\text{с}.$$

Загальна площа перерізу ливникової системи

$$F_{\Sigma} = \frac{Q}{\mu\sqrt{2gH}}, \quad (4.9)$$

Швидкість витікання металу з ливникового стояка визначається за формулою Торрічеллі:

$$v = \mu\sqrt{2gH}, \quad (4.10)$$

де μ - коефіцієнт витрати, $\mu = 0,42$;

H - висота металостатичного напору, $H = 0,20$ м

де $\mu = 0,42$; $g = 9,81$ м/с²; $H = 0,20$ м.

$$v = 0,42 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,2} = 0,79 \text{ м/с}$$

$$F_{\Sigma} = \frac{126}{0,4 \cdot 138} = \frac{126}{55,2} \approx 2,28 \text{ см}^2$$

Площа поперечного перерізу стояка визначаємо за формулою (4.11):

$$F_{\text{ст}} = \frac{Q}{v} \quad (4.11)$$

$$F_{\text{ст}} = \frac{62,5}{79} \approx 0,791 \text{ см}^2$$

Діаметр стояка розраховуємо за формулою (4.12):

$$d_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{ст}}}{\pi}} \quad (4.12)$$

$$d_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,791}{3,14}} \approx \sqrt{\frac{3,164}{3,14}} \approx \sqrt{1,0076} = 1,0037 \approx 1,1 \text{ см}$$

Приймаємо по технології: $d_{\text{ст}}=15$ мм

Розрахунок воронки стояка

Воронку виконуємо у вигляді трапеції для зменшення турбулентності потоку. Воронка формується у верхній частині стояка для забезпечення плавного входу металу (згідно довідника рис.4.1).

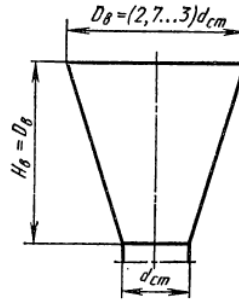


Рисунок 4.1 – Переріз воронки

Діаметр воронки:

$$D_B = (2,7 \dots 3) \cdot d_{ст} \quad (4.13)$$

$$d_1 = 2,7 \cdot 15,0 = 40,5 \text{ мм}$$

Площа перерізу:

$$F_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \approx 32 \text{ мм}^2$$

Геометричні розміри: верхній діаметр: Ø41 мм; нижній діаметр: Ø15 мм; висота воронки: 40-45 мм. Воронка повністю знаходиться в межах верхньої напівформи, її верхня кромка розташована на 10–15 мм нижче поверхні опоки (рис.4.2).

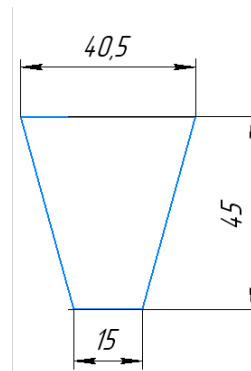


Рисунок 4.2 – Переріз воронки

Розрахунок шлаковловлювача

Шлаковловлювач прийнято трапецієподібної форми. Геометричні розміри шлаковловлювача підібрані з урахуванням компоновки ливникової системи у формі та габаритів опоки і становлять: верхня основа – 12 мм, нижня основа –

8 мм, висота – 6 мм.

Шлаковловлювач розміщують після стояка, призначений для затримки неметалевих включень.

Приймаємо:

$$F_{\text{шл}} = 1,1 \cdot F_{\text{ст}}, \quad (4.15)$$

$$F_{\text{шл}} = 1,1 \cdot 0,791 \approx 0,870 \text{ см}^2$$

Геометричні розміри трапеції:

- верхня основа — 12 мм;
- нижня основа — 8 мм;
- висота — 6 мм.

$$F = \frac{(1,2+0,8)}{2} \cdot 0,6 \approx 0,6 \text{ см}^2.$$

Співвідношення перерізів ливникової системи

Для сірого чавуну приймаємо класичне співвідношення:

$$F_{\text{жив}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{ст}} = 1 : 1,1 : 1,5 \quad (4.16)$$

що забезпечує: зменшення швидкості потоку; ефективно уловлювання шлаку; спокійне заповнення форми.

Розрахунок живильників

Для живлення масивних ділянок вилівка застосовано два живильники трапецієподібної форми, що відповідає схемі на кресленні.

Сумарна площа живильників:

$$\sum F_{\text{ж}} = \frac{G_{\text{мет}}}{\rho \cdot t \cdot \mu \sqrt{2 \cdot g H_P}}, \quad (4.17)$$

де $G_{\text{мет}}$ маса металу для 1-го вилівка $G_{\text{мет}} = 4,095 \text{ кг} = 4095 \text{ г}$

ρ - густина сірого чавуну, 7100 кг/м^3

μ – коефіцієнт витрат металу, $\mu = 0,42$ [13];

g – прискорення вільного падіння, $9,81 \text{ м/сек}^2$;

H_p – середній метало статичний тиск, см.

Середній металостатичний тиск визначимо за формулою (4.18):

$$H_p = H_0 - \frac{p^2}{c}, \quad (4.18)$$

де H_0 – висота металу в чаші;

p – висота вилівка над рівнем підйому металу, $p = 13$ мм;

c – загальна висота вилівка, $c = 72$ мм.

$$H_p = 180 - \frac{13^2}{72} = 102,5 \approx 103 \text{ мм} = 0,103 \text{ м}$$

$$\sum F_{\text{ж}} = \frac{4,095}{7100 \cdot 8 \cdot 0,42 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,103}} = 0,0001275 \text{ м} = 1,275 \text{ см}^2$$

Сумарна розрахункова площа живильників $1,275 \text{ см}^2$. Розміри живильника зображені на рис. 4.2.

$$F_{\text{ж1}} = \frac{\sum F_{\text{ж}}}{n}, \quad (4.20)$$

де n - кількість живильників, $n = 2$ шт.

Площа одного живильника:

$$F_{\text{ж1}} = \frac{1,275}{2} = 0,63 \text{ см}^2,$$

Прийняті розміри одного живильника:

- верхня основа — 8 мм;
- нижня основа — 5 мм;
- висота — 8 мм.

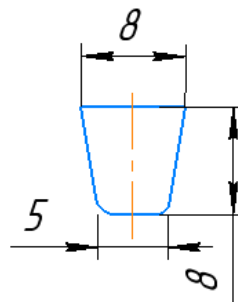


Рисунок 4.2 – Ескіз перерізу живильників

Із співвідношення знайдемо площу шлаковловлювача

$$\sum F_{\text{ж}} : \sum F_{\text{шл.}} : \sum F_{\text{ст}} = 1 : 1,1 : 1,5, \quad (4.21)$$

Із співвідношення площа шлаковловлювача становить згідно формули (4.22)

$$\sum F_{\text{шл}} = \sum F_{\text{ж}} \cdot 1,1 \quad (4.22)$$

$$\sum F_{\text{шл}} = 1,275 \cdot 1,1 = 1,40 \text{ см}^2$$

Із технологічною необхідністю шлаковловлювач підбираємо із площею $1,6 \text{ см}^2$ рис. 4.3.

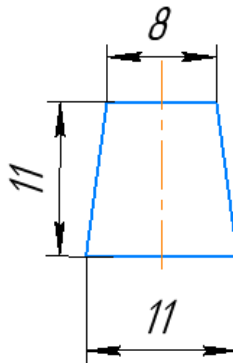


Рисунок 4.3 – Ескіз перерізу шлаковловлювача

Розміри елементів ливникової системи визначені на основі розрахунку витрати металу, тривалості заливки та гідродинамічних умов заповнення ливарної форми. Співвідношення площ перерізів стояка, шлаковловлювача та підвідних каналів прийняте з урахуванням особливостей лиття сірого чавуну, що дозволяє зменшити швидкість потоку, запобігти окисненню розплаву та забезпечити рівномірне заповнення порожнини форми [18–20].

Розташування елементів ливникової системи узгоджується з конструкцією виливка та прийнятою опокою розміром 500×400 мм, що забезпечує технологічність формування та зручність очищення виливка після вибивки [21, 22].

5. Технологічний процес виготовлення виливка «Кришка»

Технологія виготовлення виливка визначає послідовність операцій, режимів та умов формування, що забезпечують отримання виливків необхідної геометричної точності, механічних властивостей і якості поверхні. Правильний вибір технологічних параметрів дозволяє мінімізувати кількість ливарних дефектів, знизити витрати матеріалів та забезпечити стабільність виробництва [25].

Виливок «Кришка» виготовляється з сірого чавуну СЧ18 у піщано-глинистих формах з використанням разових форм і стержнів. Такий спосіб є

технологічно доцільним виробництва, а також дозволяє отримати складну геометрію деталі з внутрішніми порожнинами.

5.1 Вибір формувальних і стержневих сумішей

Формувальні суміші повинні забезпечувати достатню міцність форми до заливки металу, газопроникність та легке вибивання виливка після охолодження. Для виготовлення форми застосовується піщано-глиниста суміш, до складу якої входять кварцовий пісок, глина та вода [26.]

Якість формувальної та стержневої сумішей безпосередньо впливає на точність геометричних розмірів виливка, стан його поверхні та кількість ливарних дефектів. Склад і властивості сумішей підбираються з урахуванням марки металу, маси виливка та умов заливання [25].

Для виготовлення ливарних форм використовується піщано-глиниста суміш середньої міцності. Кварцовий пісок повинен мати однорідний гранулометричний склад, що забезпечує оптимальну газопроникність форми. Глинисті компоненти виконують роль в'язучої речовини, утворюючи між зернами піску міцні зв'язки після ущільнення [26].

Вологість формувальної суміші підтримується в межах, рекомендованих нормативною документацією. Недостатня вологість призводить до зниження міцності форми, а надмірна — до утворення газових дефектів у виливку. Перед формуванням суміш ретельно перемішується та перевіряється на однорідність..

Формувальна суміш складається з кварцового піску, органічної або неорганічної смоли та отверджувача. Кварцовий пісок виконує роль вогнетривкої основи, смола забезпечує міцність форми після твердіння, а отверджувач ініціює процес полімеризації. Співвідношення компонентів суміші вибирається відповідно до рекомендацій виробників зв'язувальних матеріалів та з урахуванням маси і габаритів виливка [5, 7].

Основними вимогами до формувальної суміші для чавунного лиття в піщано-глинисті форми є: - достатня міцність у вологому та сухому стані;

- газопроникність, що запобігає утворенню газових раковин;

- вогнетривкість і стійкість до температур 1200–1300 °С;
- мінімальна газотворність;
- стабільна властивість при багаторазовому використанні оборотного піску.

Оптимальна формувальна суміш для лиття виливки має такий середній склад:

Таблиця 12 - Середній склад формувальної суміші

Компонент	Вміст, %
Кварцовий пісок (оборотний + свіжий) 1КО6 ДСТУ Б В.2.7-131:2007	88–92 %
Бентонітова глина	7–9 %
Вода	2.5–4 %
Вугільний пил (антипригарний компонент)	0.3–0.5 %

Додавання дрібнодисперсного вугілля покращує поверхневу чистоту виливка та зменшує пригар, що особливо важливо для деталей із плоскими поверхнями, як у випадку «Кришки».

Приготування здійснюється за стандартним технологічним циклом:

1. Дозування компонентів згідно з рецептурою.
2. Сухе змішування піску з глиною до рівномірного розподілу.
3. Зволоження та повторне змішування з подачею води дрібним розпиленням.
4. Витримка (старіння) суміші 1...2 год для активації глини.
5. Контроль властивостей: вологість (оптимум 2.8–3.5 %), міцність у сирому стані (0.10–0.18 МПа), газопроникність (60–110 од.).

Змішування проводять у лопатевих або турбулентних мішалках, рекомендованих для опочних формувальних ліній середнього класу продуктивності.

Оскільки в конструкції виливка «Кришка» передбачені отвори під подальшу механічну обробку та можливі внутрішні порожнини, стержні повинні мати високу міцність у сухому стані та низьку газотворність.

Для виготовлення стержнів рекомендується суміш на кварцовому піску із застосуванням органічних або неорганічних зв'язувальних.

Використовуємо холоднотвердіючу суміш (фуранову). У табл. приведено середній склад стержневої суміші.

Для виготовлення стержнів застосовується стержнева суміш із підвищеною міцністю та зниженою газоутворюваністю. Перед використанням суміші проходять просіювання та перемішування з метою забезпечення однорідності складу. Хімічний склад стержневої суміші наведено у табл.13

Таблиця 13 - Середній склад стержневої суміші

Компонент	Вміст, %
Кварцовий пісок 1КО2А ДСТУ Б В.2.7-131:2007	93-96 %
Фуранова смола	1,2-1,8 %
Кислотний каталізатор	0,25–0,35 %
а також застосовують:	
кварцовий пісок наповнювач– поліуретанове зв'язуюче – ізоціанатний затверджувач	98–99 %; 0,8–1,2 %; 0,25–0,35 %.
час затвердіння (30–90 с)	

Стержневі суміші мають підвищені вимоги до міцності та термостійкості. Вони повинні витримувати дію розплавленого металу без руйнування та деформацій, забезпечуючи точність внутрішніх порожнин виливка [27].

Технологія приготування стержневої суміші:

1. Підготовка піску. Пісок просіюють, очищають від пилових частинок і підігрівають до температури 20–30 °С для забезпечення рівномірного змішування компонентів [4].
2. Додавання зв'язуючого. Органічну смолу вводять у сухий пісок у змішувачі циклічної або турбулентної дії. Тривалість перемішування становить 1–2 хвилини до повного рівномірного розподілу смоли по зернах піску.

3. Введення затверджувача. Додається після попереднього перемішування, що забезпечує необхідну реакцію полімеризації. Тривалість другого етапу змішування — 20–40 секунд.
4. Контроль параметрів суміші. Визначають газопроникність, міцність при стиску (не менше 0,7–1,0 МПа для сухих стержнів), сипкість та час твердіння. Показники контролюються згідно з ГОСТ 23409-84 та ДСТУ EN 13704:2009 [5].
5. Подача суміші у стержневе обладнання. Суміш має бути використана протягом 5–10 хвилин після приготування, оскільки подальше твердіння значно знижує формувальні властивості.

Вибір стержневої суміші для конкретного виливка

Для виготовлення стержнів кришки або корпусній деталі середніх розмірів рекомендується застосовувати холоднотвердіючі органічні суміші, оскільки вони забезпечують:

- високу точність відтворення геометрії;
- відсутність короблення стержнів;
- мінімальне газоутворення;
- просте вибивання після твердіння чавуну.

5.2 Виготовлення та підготовка ливарних форм

Формування здійснюється у двох півформах — верхній і нижній. У нижній півформі розміщується модель деталі разом з елементами ливниково-живильної системи. Формувальна суміш ущільнюється пошарово, що забезпечує рівномірну щільність по всьому об'єму форми.

У нижню півформу встановлюється модель деталі разом з елементами ливниково-живильної системи. Після ущільнення суміші модель обережно витягується з форми, здійснюється огляд формувальної порожнини, щоб не порушити геометрію порожнини. Формувальна суміш укладається шарами з

послідовним ущільненням, що дозволяє уникнути нерівномірної щільності та локальних ослаблених зон у формі [25].

Поверхню форми зачищають та обробляють антипригарним покриттям, що зменшує пригорання металу та покращує якість поверхні виливка [27].

У верхній півформі формуються воронка, стояк та вентиляційні канали, які забезпечують відведення газів під час заливки металу. Після завершення формування обидві півформи перевіряються на відповідність кресленню та змикаються.

5.3 Виготовлення та встановлення стержнів

Стержні застосовуються для утворення внутрішніх порожнин виливка. Їх геометрія повинна точно відповідати внутрішнім контурам деталі. Їх геометричні розміри повинні відповідати кресленню з урахуванням припусків на механічну обробку та усадку металу. Виготовлення стержнів здійснюється у спеціальних стержневих ящиках із використанням стержневої суміші [26].

Після формування стержні піддаються сушінню при температурі 180–220°C, що забезпечує необхідну міцність і зменшує газоутворення під час заливки. Сушіння сприяє зростанню міцності та зменшенню газоутворення під час контакту з розплавленим чавуном. Перед установленням стержні оглядають на наявність тріщин і механічних пошкоджень.

Установлення стержнів у форму здійснюється за допомогою стержневих знаків, що забезпечує їх точне позиціонування та запобігає зсуву під дією гідростатичного тиску рідкого металу. Неправильне встановлення стержнів може призвести до перекосів, зміни товщини стінок та браку виливка [27].

6. Опис процесу проектування ливарної оснастки

Проектування ливарної оснастки є одним з ключових етапів технологічної підготовки виробництва, оскільки від правильності конструктивних і технологічних рішень залежить якість виливка, стабільність процесу лиття та економічна ефективність виробництва.

Ливарна оснастка для виготовлення виливка «Кришка» включає модельний комплект, стержневі ящики, елементи ливниково-живильної системи та допоміжні пристрої, призначені для формування порожнини виливка у піщаній формі.

Проектування ливарної оснастки для виготовлення виливка «Кришка» здійснюється з урахуванням геометричних особливостей деталі, вимог до якості поверхні, точності розмірів, а також умов серійного виробництва. Основною метою проектування оснастки є забезпечення стабільного отримання виливків заданої якості при мінімальних витратах матеріалів і часу [1, 4].

На першому етапі визначають положення виливка у формі та вибирають площину роз'єму. Для даного виливка доцільно застосувати горизонтальний роз'єм, що забезпечує простоту формування, надійне встановлення стержнів і зручне розміщення елементів ливниково-живильної системи [6]. Орієнтація моделі у формі вибрана таким чином, щоб основні оброблювані поверхні розташовувалися у нижній напівформі, що сприяє підвищенню їхньої якості.

Наступним етапом є проектування модельної оснастки, яка включає модель виливка з припусками на механічну обробку, формувальними уклонами та заокругленнями кутів. Величини припусків і уклонів приймаються відповідно до рекомендацій стандартів і довідкових джерел з урахуванням матеріалу виливка та способу формування [2, 7]. Для забезпечення точного положення стержнів передбачені стержневі знаки необхідної жорсткості.

Проектування стержневого ящика виконується з урахуванням конфігурації внутрішніх порожнин виливка. Конструкція ящика повинна забезпечувати легке виймання стержня, достатню міцність і мінімальну деформацію під час виготовлення [9]. Кількість стержнів і їх розміщення відповідають кресленню виливка.

Особлива увага приділяється розробці ливниково-живильної системи, яка включає стояк, ливникову воронку, шлаковловлювач і живильники. Для даного виливка застосовано шлаковловлювач і живильники трапецієподібної форми,

що відповідає вимогам до рівномірного заповнення форми та компенсації усадки металу [11, 14].

Розміри елементів системи визначаються розрахунковим шляхом і прив'язуються до габаритів виливка та опоки.

Завершальним етапом є перевірка технологічності спроектованої оснастки, яка включає аналіз можливості механізації та автоматизації процесу формування, сумісність з обраною опочною автоматичною лінією типу HWS, а також відповідність вимогам безпеки та надійності [18, 21]. У результаті проектування отримано комплект ливарної оснастки, який забезпечує стабільне серійне виготовлення виливків заданої якості.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі розроблено повний технологічний процес виготовлення виливка «Кришка передня» з сірого чавуну СЧ18 у піщано-глинисту форму. На основі аналізу креслення деталі обґрунтовано вибір матеріалу, визначено припуски на механічну обробку, технологічні уклони та заокруглення.

Обрано горизонтальну площину роз'єму ливарної форми та розміщення двох виливків в опоці розміром 500×400 мм. Спроектовано ливниково-живильну систему з трапецієподібними шлаковловлювачами та живильниками, виконано розрахунок її основних параметрів і тривалості заливки.

Підібрано автоматичну опочну формувальну лінію типу HWS, обладнання для виготовлення стержнів із холоднотвердіючих сумішей, індукційну піч для плавлення чавуну, а також устаткування для вибивання, очищення й зачистки виливків. Розроблено технологію виготовлення виливка та описано процес проектування ливарної оснастки.

Запропонований технологічний процес забезпечує отримання якісних виливків із заданими геометричними та експлуатаційними характеристиками й

може бути рекомендований для використання в умовах серійного ливарного виробництва.

Література

1. Кузнецов В. Д. Ливарне виробництво : підручник. – К. : Вища школа, 2015. – 412 с.
2. Сердюк О. А. Технологія ливарного виробництва. – Львів : Новий Світ–2000, 2016. – 368 с.
3. ДСТУ 2651:2005. Виливки з чавуну. Загальні технічні умови.
4. ДСТУ EN 1561:2017. Чавун сірий. Класифікація.
5. ГОСТ 26645–85. Виливки. Допуски розмірів, маси і припуски на механічну обробку.
6. Білецький В. С. Основи ливарного виробництва. – Харків : НТУ «ХП», 2014. – 290 с.
7. Калініченко В. М. Проектування ливарних форм та оснастки. – К. : НТУУ «КПІ», 2017. – 244 с.
8. Гончаренко О. М. Формувальні матеріали та суміші. – Дніпро : Літограф, 2016. – 215 с.
9. Климов С. О. Стержні та стержневі суміші у ливарному виробництві. – Харків : ХНУ, 2018. – 198 с.
10. ДСТУ 2770–94. Форми ливарні піщані. Загальні вимоги.
11. Кравченко І. В. Ливникові та живильні системи в ливарному виробництві. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2015. – 176 с.
12. Нечипорук М. П. Розрахунок ливникових систем. – К. : КПІ, 2014. – 152 с.
13. ДСТУ 3925–99. Виливки. Методи контролю якості.
14. Федоренко Ю. О. Усадка і живлення виливків. – Харків : ХАІ, 2016. – 184 с.
15. Костенко А. В. Процеси заливання і кристалізації чавуну. – Дніпро : УДХТУ, 2017. – 203 с.

- 16.Ковальчук П. І. Автоматизація ливарного виробництва. – К. : Машинобудування, 2018. – 260 с.
- 17.Heinrich Wagner Sinto GmbH. Molding Lines HWS. – Technical description.
- 18.Савчук О. М. Опочні автоматичні лінії. – Харків : НТУ «ХП», 2019. – 190 с.
- 19.ДСТУ ISO 8062–3:2018. Геометричні допуски литва.
- 20.Руденко В. М. Обладнання ливарних цехів. – К. : Техніка, 2015. – 312 с.
- 21.Іванченко С. А. Індукційні плавильні печі. – Запоріжжя : ЗДІА, 2016. – 174 с.
- 22.ДСТУ 3137–95. Чавун сірий. Методи випробувань.
- 23.Мельник О. Л. Очищення та обрубка виливків. – Львів : ЛП, 2017. – 168 с.
- 24.Петренко Р. В. Дробометна та галтувальна обробка литва. – Харків : ХНАДУ, 2018. – 146 с.
- 25.Сидоренко Н. В. Контроль якості виливків. – К. : КП, 2016. – 182 с.
- 26.ДСТУ 3215–95. Виробництво ливарне. Терміни та визначення.
- 27.Остапенко В. М. Проектування технологічних процесів лиття. – К. : Освіта, 2014. – 221 с.
- 28.Бондаренко Ю. І. Технологічність ливарних конструкцій. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – 198 с.
- 29.Методичні вказівки до виконання бакалаврських робіт з ливарного виробництва. – К. : НТУУ «КП», 2020.
- 30.ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення.
- 31.Можаровський М.В. Обладнання та процеси ливарного виробництва. – Київ: КНУТД, 2016.
- 32.ДСТУ EN 1561:2019. Литво. Сірий чавун. Технічні умови.
- 33.Кузнецов В. Д. Технологія ливарного виробництва. Формування та заливання. – Київ: НТУУ «КП», 2016
- 34.Campbell J. Complete Casting Handbook. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2015.

35.Калюжний О. М. Проектування ливарних форм і ливникових систем. –
Харків: НТУ «ХП», 2018.