

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 технології виготовлення виливка
«Маточина сошника Н105.03.101»**

**Development of a technology for manufacturing a
casting "Hub of a sharer Н105.03.101"**

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

Андрій Штрахов

(прізвище та ініціали)

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

Керівник роботи:

викл.

Людмила МОЛОКОСТ

(прізвище та ініціали)

Рецензент:

к.т.н., доц.

Юрій НЕВДАХА

(прізвище та ініціали)

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 Матеріалознавства та ЛВ
_____ доц., к. т. н. Олександр КУЗИК
«_____» _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ПЕРШИМ
(БАКЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Штрахов Андрій Русланович

1. Тема роботи: «Розробка технології виготовлення виливка
«Маточина сошника Н105.03.101»»

2. Керівник роботи _____ викладач Молокост Л.А.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджено наказом вищого навчального закладу від 13.04.2026 року №167-02

3. Строк подання роботи до захисту _____ 10.06.2026 _____ року

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи: Розробити технологічний процес виготовлення виливка «Маточина сошника Н105.03.101» методом лиття в піщано-глинисту форму

Завдання:

Вибрати матеріал для виготовлення виливка, обгрутувати його, навести його властивості. Охарактеризувати деталь та розробити технічні умови на виливок
Розробити технологічний процес для виготовлення виливка «Маточина».
Описати технологічний процес виготовлення виливка. Розрахувати та побудувати ливникову систему.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням графічного матеріалу):
Маточина; форма в зборі, формувальна автоматична лінія.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Процес виготовлення виливка	Молокост Л.А.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей	1.05.2026	
2	Характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок	8.05.2026	
3	Розробка технологічного процесу виготовлення виливка	10.05.2026	
4	Розрахунок і конструювання ливникової системи	15.05.2026	
5	Опис технологічного процесу виготовлення виливка	17.05.2026	
6	Опис процесу проектування ливарної оснастки	20.05.2026	
7	Оформлення пояснювальної записки	22.05.2026	
8	Оформлення презентації роботи	26.05.2026	
9	Здача роботи на кафедрі та перевірка на наявність запозичень	10.06.2026	

Дата видачі завдання «15» квітня 2026 р.

Керівник роботи _____ Людмила МОЛОКОСТ
(підпис)

Завдання прийнято до виконання «_____» _____ 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Андрій Штрахов
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка викладена на 45 стор. друкованого тексту і містить 5 рис., 10 табл., 25 джерел.

У бакалаврській роботі розроблено технологію виготовлення виливка «Маточина сошника» Н105.03.101 масою 0,9 кг із сірого чавуну СЧ200 у піщано-глинистих формах. Виробництво передбачено здійснювати на автоматичній опочній ливарній лінії високого тиску.

Виконано аналіз конструкції деталі та обґрунтовано вибір матеріалу виливка з урахуванням умов експлуатації та вимог до механічних властивостей. Розроблено технічні умови на виготовлення виливка, визначено його положення у формі та призначено технологічні припуски.

Проведено розрахунок і конструювання ливниково-живильної системи для отримання шести виливків у формі. Визначено параметри заливання, площі перерізів каналів, конструкцію шлаковловлювача та живильників, що забезпечують рівномірне заповнення форми та спрямоване тверднення металу.

Обґрунтовано вибір формувальних і стержневих сумішей, а також технологічного обладнання: автоматичної ливарної лінії, стрижневого автомата, змішувача піщано-глинистих сумішей, індукційної плавильної печі та дробометної установки. Описано послідовність технологічного процесу виготовлення виливка.

Розроблена технологія забезпечує підвищення продуктивності виробництва, стабільність якості та зменшення витрат металу.

Ливарне виробництво, сірий чавун, піщано-глиниста форма, автоматична ливарна лінія, ливникова система, виливок, маточина.

ANNOTATION

The explanatory note is set out on 40 pages of printed text and contains 5 figs., 12 tables, 16 sources.

In the bachelor's thesis, a technology for manufacturing a casting "Opener hub" H105.03.101 weighing 0.9 kg from gray cast iron SCh200 in sand-clay molds has been developed. Production is planned to be carried out on an automatic high-pressure ingot casting line.

An analysis of the design of the part has been performed and the choice of casting material has been justified, taking into account operating conditions and requirements for mechanical properties. Technical conditions for the manufacture of the casting have been developed, its position in the mold has been determined and technological allowances have been assigned.

The calculation and design of the sprue-feeding system for obtaining six castings in the mold were carried out. The pouring parameters, the cross-sectional areas of the channels, the design of the slag trap and feeders were determined, which ensure uniform filling of the mold and directional hardening of the metal.

The choice of molding and core mixtures, as well as technological equipment: an automatic casting line, a core machine, a mixer of sand-clay mixtures, an induction melting furnace and a shot blasting unit, was justified. The sequence of the technological process of manufacturing a casting was described.

The choice of molding and core mixtures, as well as technological equipment: automatic casting line, core machine, mixer of sand-clay mixtures, induction melting furnace and shot blasting unit is justified. The sequence of the technological process of manufacturing a casting is described.

The developed technology ensures increased production productivity, quality stability and reduced metal consumption.

Foundry production, gray cast iron, sand-clay mold, automatic casting line, sprue system, casting, hub.

Зміст

ВСТУП	6
1.Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей.....	8
2.Характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок.....	11
3.Вибір способу виготовлення виливка та обґрунтування технологічного процесу.....	13
3.1 Аналіз можливих способів виготовлення виливка.....	14
3.2 Обґрунтування вибору безопочного формування.....	15
4.Розробка технологічного процесу виготовлення виливка.....	16
4.1.Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів.....	17
4.2.Визначення положення виливка у формі.....	21
4.3.Вибір припусків на механічну обробку і усадку, радіусів, галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків	25
5.Розрахунок і конструювання ливникової системи	27
5.1.Визначення габаритних розмірів опоки.....	28
5.2. Визначення оптимальної тривалості заливки.....	27
5.3.Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.....	30
6.Опис технологічного процесу виготовлення виливка.....	31
6.1.Вибір формувальної та стержньової суміші.....	32
6.2.Формовка.....	34
6.3.Збирання форм.....	35
6.4.Заливка форм.....	36
6.5.Вибивка і обрубка.....	37
7.Опис процесу проектування ливарного оснащення.....	40
ЗАКЛЮЧЕННЯ.....	41
ЛІТЕРАТУРА	43

ВСТУП

Ливарне виробництво є однією з базових галузей машинобудування, яка забезпечує виготовлення заготовок складної конфігурації для різних галузей промисловості. Значна частина деталей сільськогосподарської техніки, транспортного машинобудування, енергетичного обладнання та інших виробів виготовляється саме методами лиття. Сучасний розвиток ливарного виробництва спрямований на підвищення якості виливків, зменшення витрат металу та енергії, а також впровадження високопродуктивних автоматизованих технологій.

Особливе місце серед способів виготовлення литих заготовок займає лиття у піщані форми, яке поєднує універсальність, економічність та можливість отримання виливків різної складності. В останні роки широкого застосування набули автоматизовані безопочні формувальні лінії, які дозволяють значно підвищити продуктивність праці, покращити точність виливків та забезпечити стабільність технологічного процесу. Одним із найбільш ефективних рішень для серійного виробництва чавунних виливків є використання безопочних формувальних ліній вертикального типу.

У сучасному сільськогосподарському машинобудуванні важливе значення мають деталі робочих органів ґрунтообробної техніки, які працюють в умовах значних механічних навантажень, ударних впливів та абразивного зношування. До таких деталей належить маточина сошника, яка забезпечує надійне кріплення та функціонування елементів посівних машин. Надійність роботи даної деталі значною мірою залежить від якості литої заготовки, правильності вибору матеріалу та дотримання технологічних параметрів виробництва.

Для виготовлення виливка «Маточина сошника Н105.03.101» доцільним є використання сірого чавуну марки СЧ200. Цей матеріал характеризується достатньою міцністю, високими ливарними властивостями, добрими антифрикційними характеристиками та високою оброблюваністю різанням.

Поєднання зазначених властивостей забезпечує ефективне використання чавуну СЧ200 для виготовлення деталей сільськогосподарської техніки.

Одним із важливих завдань сучасного ливарного виробництва є розробка раціональної технології виготовлення виливків із забезпеченням високої якості поверхні, мінімізації ливарних дефектів та зниження собівартості продукції. Досягнення цих показників можливе завдяки правильному вибору способу формування, конструкції ливниково-живильної системи, параметрів заливання та комплексу технологічного обладнання.

У даній бакалаврській роботі розглядаються питання розробки технології виготовлення виливка «Маточина сошника Н105.03.101» із сірого чавуну СЧ200 із застосуванням автоматичної безопочної формувальної лінії Z426. Особлива увага приділяється вибору способу формування, розрахунку та конструюванню ливникової системи, підбору технологічного обладнання, визначенню параметрів технологічного процесу та проєктуванню ливарного оснащення.

Мета роботи – розроблення раціональної технології виготовлення виливка «Маточина сошника Н105.03.101» із сірого чавуну СЧ200 на автоматичній безопочній формувальній лінії Z426 із забезпеченням необхідної якості виливка та ефективності виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз конструкції деталі та її технологічності;
- обґрунтувати вибір матеріалу виливка;
- вибрати спосіб виготовлення ливарної форми та стержнів;
- визначити положення виливка у формі;
- призначити припуски на механічну обробку, ливарну усадку та формувальні ухили;
- виконати розрахунок і конструювання ливникової системи;
- підібрати комплекс технологічного обладнання для плавлення металу, формування, заливання та очищення виливків;
- розробити технологічний процес виготовлення виливка;

- спроектувати основні елементи ливарного оснащення.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення чавунних виливків у піщаних формах.

Предмет дослідження – технологія виготовлення виливка «Маточина сошника Н105.03.101» із сірого чавуну СЧ200 на автоматичній безопочній формувальній лінії Z426.

Практичне значення роботи полягає в розробці технологічного процесу виготовлення виливка, який забезпечує отримання якісної литої заготовки з мінімальними витратами матеріалів, енергії та трудових ресурсів, а також може бути використаний під час проектування та модернізації ливарних діляниць серійного виробництва.

1. Обґрунтування вибору матеріалу виливка та опис його властивостей

Маточина Н105.03.101 є центральним сполучним елементом вузла дискового сошника сівалки СЗ-3,6. Вона служить корпусом для підшипників, на яких обертається диск сошника, забезпечує жорстке кріплення диска до вузла наплавлення за допомогою заклепок, сприймає та передає зусилля від диска, який розрізає ґрунт, на корпус сошника.

Вибір матеріалу для виготовлення виливка визначається умовами роботи деталі, особливостями технології лиття та вимогами до експлуатаційної надійності виробу. Деталь функціонує у вузлі сільськогосподарської машини та під час роботи сприймає циклічні навантаження, локальні ударні впливи і дію абразивних частинок ґрунту. За таких умов матеріал повинен мати достатню міцність, стійкість до зношування, здатність гасити вібрації та добру оброблюваність різальним інструментом. Робота переважно в помірних температурах, але зберігання техніки взимку передбачає стійкість до циклів «заморожування-розморожування».

З урахуванням зазначених вимог для виготовлення виливка прийнято сірий чавун марки СЧ200. Даний матеріал широко використовується у машинобудуванні при виготовленні корпусних і навантажених деталей завдяки

поєднанню задовільних механічних характеристик та високих ливарних властивостей [2].

Мікроструктура сірого чавуну представлена металевою основою, переважно перлітною або феритно-перлітною, у якій розташовані пластинчасті включення графіту. Саме наявність графіту знижує чутливість матеріалу до концентрації напружень, сприяє поглинанню коливань і підвищує експлуатаційну надійність деталей, що працюють у динамічних режимах [3].

Чавун СЧ200 характеризується границею міцності при розтягу не нижче 200 МПа та твердістю у межах 170–220 НВ. Матеріал має високу міцність при стиску, що є важливим для деталей, які передають контактні навантаження. Крім того, він відзначається стабільністю структури після кристалізації та відносно низьким рівнем внутрішніх напружень [1].

У таблиці 1.1 наведена порівняльна характеристика механічних властивостей чавунів. Механічні властивості СЧ200 наведено у таблиці [1.1].

Таблиця 1.1 – Механічні властивості чавуну СЧ200

Показник	Одиниці	Значення
Тимчасовий опір розриву,	МПа	не менше 200
Твердість	НВ	170–220
Густина,	кг/м ³	7100–7300
Лінійна усадка	%	0,8–1,0

Границя міцності під час розтягування чавуну в литому стані або після термічного оброблення має відповідати наведеному в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Границя міцності під час розтягування чавуну в литому стані або після термічного оброблення

Марка чавуну згідно з ДСТУ 8833:2019	Марка чавуну згідно з ДСТУ EN 1561	Границя міцності під час розтягування σ_b , Н/мм ² , не менше ніж
СЧ200	EN-GJL-200	200(20)

Механічні властивості чавуну в стінках виливків різного перерізу наведені

в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Механічні властивості чавуну в стінках виливків різного перерізу

Марка чавуну	Товщина стінки вилівка, мм						
	4	8	15	30	50	80	150
Границя міцності під час розтягування, Н/мм ² , не менше ніж							
СЧ200	270	220	200	160	140	130	120
Твердість НВ, не більше ніж							
СЧ200	255	240	230	216	170	163	143

Фізичні властивості чавуну наведені в таблиці 4.

Таблиця 1.4 — Довідкові фізичні властивості чавуну з пластинчастим графітом

Марка чавуну	Густина, г, кг/м ³	Лінійна усадка, ε, %	Модуль пружності під час розтягування, E · 10 ⁻² МПа	Модуль пружності під час розтягування, E · 10 ⁻² МПа	Коефіцієнт лінійного розширення, α, в інтервалі температур від 20 оС до 200 оС включно, α · 10 ⁻⁶ /К	Коефіцієнт теплопровідності, λ, за 20 оС, Вт/(м·К)
СЧ200	7,1 · 10 ³	1,2	вд 850 до 1100	480	9,5	54

Рекомендований хімічний склад чавуну з пластинчастим графітом наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Хімічний склад чавуну з пластинчастим графітом СЧ20 за ДСТУ 8833:2019

Марка чавуну	Масова частка елемента, %				
	C	Si	Mn	P	S
				не більше ніж	
СЧ200	3,3—3,5	1,4—2,4	0,7—1,0	0,2	0,15

Проаналізувавши таблиці властивостей матеріалів робимо висновок, що для виготовлення вилівка найбільш підходить сірий чавун марки СЧ200 відповідно до вимог ДСТУ EN 1561.

Сірий чавун є одним із найпоширеніших ливарних матеріалів завдяки поєднанню високих технологічних та експлуатаційних властивостей.

Основними перевагами СЧ200 є: - добра рідкотекучість;

- низька схильність до утворення гарячих тріщин;
- незначна усадка;
- високі демпфувальні властивості;
- добра оброблюваність різанням;
- порівняно низька собівартість.

2.Характеристика деталі та розробка технічних умов на виливок

Деталь «Маточина» є елементом вузла кріплення робочого органу сільськогосподарської машини та призначена для сприйняття і передачі навантажень під час взаємодії сошника з ґрунтом. Конструктивно деталь належить до симетричних корпусних виробів і характеризується поєднанням циліндричних та фланцевих поверхонь.

Технологічність конструкції вилівка визначає можливість його виготовлення із заданими показниками якості при мінімальних витратах матеріалу, енергії та трудових ресурсів. Оцінювання технологічності деталі «Маточина» виконано з урахуванням способу отримання заготовки — лиття у піщано-глинисті форми на автоматичній безопочній лінії.

Основні поверхні представлені циліндричними та торцевими елементами, які можуть бути сформовані без застосування складних технологічних прийомів. Така геометрія сприяє рівномірному заповненню форми розплавом і зменшує ймовірність утворення зон локального перегріву [4].

Аналіз конфігурації показує відсутність різких переходів між перерізами. Плавні сполучення поверхонь забезпечують спрямоване охолодження металу та знижують концентрацію термічних напружень під час кристалізації. Це є

важливою умовою для запобігання утворенню гарячих тріщин і внутрішніх дефектів у чавунних виливках [8].

Товщина стінок деталі є відносно рівномірною, що відповідає вимогам ливарної технологічності. Вирівнювання товщин дозволяє уникнути значної різниці швидкостей охолодження окремих ділянок і забезпечує формування однорідної структури матеріалу. Для сірого чавуну така умова особливо важлива, оскільки різке охолодження може спричинити утворення відбілу [2].

Конструкція виробу допускає раціональне розташування площини роз'єму форми. Основна частина поверхонь може бути сформована у верхній та нижній напівформах без утворення піднутрень, що спрощує модельну оснастку та підвищує надійність процесу формування. Мінімальна кількість стержнів зменшує трудомісткість виготовлення форм і ймовірність зміщення внутрішніх елементів під час заливання [5].

Невелика маса вилівка є сприятливою для виготовлення на автоматичних формувальних лініях високого тиску. При цьому забезпечується стабільне ущільнення формувальної суміші та висока точність відтворення контурів моделі. Використання машинного формування дозволяє зменшити припуски на механічну обробку та підвищити коефіцієнт використання металу [4].

Разом з тим, при аналізі конструкції враховується необхідність введення технологічних елементів — ливарних ухилів, припусків на механічну обробку та радіусів заокруглення. Наявність ухилів забезпечує безперешкодне вилучення моделі з форми без руйнування її стінок, а радіуси сприяють рівномірному руху металу під час заповнення порожнини форми [8].

У цілому конструкція деталі відповідає вимогам ливарної технологічності та придатна для виготовлення методом лиття у піщано-глинисті форми з використанням автоматизованого формування. Геометричні особливості виробу забезпечують стабільність процесу заливання, сприятливі умови кристалізації та отримання якісного вилівка з мінімальною кількістю дефектів.

Відсутність різких перепадів товщин і плавні переходи між елементами конструкції сприяють рівномірному охолодженню металу та зменшенню ймовірності виникнення внутрішніх напружень і ливарних дефектів [5].

Невелика маса та компактні габарити забезпечують стабільне заповнення форми металом і сприяють отриманню точних розмірів при машинному формуванні [4].

При розробці технічних умов на виливок встановлюються вимоги, спрямовані на забезпечення подальшої механічної обробки та надійної роботи деталі в експлуатації.

До основних технічних вимог належать:

- виготовлення з чавуну СЧ200 відповідно до нормативної документації [6];
- забезпечення точності лиття, характерної для машинного формування у піщано-глинистих формах;
- призначення припусків на механічну обробку згідно з нормативами для чавунних виливків [8];
- відсутність поверхневих і внутрішніх дефектів (тріщин, газових пор, усадочних раковин, шлакових включень);
- твердість металу в установлених межах;
- рівномірність структури без локального відбілу у зонах механічної обробки.

На поверхні вилівка не допускаються: тріщини; спаї; холодні шви; газові раковини; усадкові раковини; неметалеві включення; пригар, який не видаляється очищенням.

Допускаються окремі поверхневі дефекти, що не впливають на працездатність виробу та можуть бути усунені механічною обробкою.

Граничні відхилення розмірів повинні відповідати класу точності лиття, прийнятому для автоматичного безопочного формування. Шорсткість поверхонь після лиття повинна відповідати вимогам конструкторської документації.

Контроль якості передбачає зовнішній огляд, перевірку розмірів, вимірювання твердості та вибірккову оцінку структури металу. Виконання

зазначених вимог забезпечує отримання виливків стабільної якості та їх придатність до подальшого виготовлення готової деталі [8].

3. Вибір способу виготовлення виливка та обґрунтування технологічного процесу.

3.1 Аналіз можливих способів виготовлення виливка

Вибір способу виготовлення виливка є одним із найважливіших етапів технологічного проектування, оскільки від нього залежать якість готового виробу, продуктивність виробництва, витрати матеріалів та економічна ефективність технологічного процесу в цілому.

Виливок «Маточина сошника Н105.03.101» являє собою деталь типу фланцевої маточини масою 0,9 кг із центральним отвором та трьома кріпильними отворами. Матеріалом деталі є сірий чавун СЧ200. Конструкція виливка характеризується відносно простою геометричною формою, наявністю внутрішньої порожнини та невеликою масою.

Для виготовлення таких деталей можуть застосовуватися різні способи лиття:

- лиття у піщано-глинисті форми;
- лиття в кокіль;
- лиття за виплавленими моделями;
- лиття в оболонкові форми;
- лиття під тиском.

Лиття під тиском не використовується для виготовлення чавунних виливків через високі температури плавлення сплаву та значну вартість оснащення.

Лиття за виплавленими моделями забезпечує високу точність і якість поверхні, проте характеризується значною складністю та високою собівартістю, тому його використання для виготовлення даної деталі є економічно недоцільним.

Лиття в кокіль дозволяє підвищити точність виливків, однак при виготовленні чавунних деталей виникають труднощі, пов'язані з інтенсивним термічним навантаженням металевої форми та необхідністю застосування складної оснастки.

Найбільш раціональним способом є лиття у разові піщано-глинисті форми, яке забезпечує отримання якісних виливків при порівняно невисоких виробничих витратах. У табл. 6 наведено порівняльну характеристику способів лиття.

Таблиця 3.1– Порівняння способів лиття

Спосіб лиття	Точність	Собівартість	Продуктивність	Доцільність застосування
У піщані форми	середня	низька	висока	доцільно
У кокіль	висока	середня	висока	обмежено
За виплавленими моделями дуже	висока	висока	низька	недоцільно
Під тиском	висока	висока	дуже висока	неможливо для СЧ200

На підставі проведеного аналізу для виготовлення вилка обираємо лиття у піщано-глинисті форми.

3.2 Обґрунтування вибору безпечного формування

Традиційно піщані форми виготовляють в опоках. Однак сучасне серійне виробництво дедалі частіше використовує безпечні автоматизовані лінії. Безпечне формування передбачає виготовлення форм без використання металевих опок. Міцність форми забезпечується ущільненням формувальної суміші під високим тиском.

Основними перевагами безпечного формування є:

- висока продуктивність;

- скорочення витрат на оснащення;
- зменшення витрат формувальної суміші;
- покращення точності виливків;
- можливість повної автоматизації процесу;
- зменшення трудомісткості виробництва.

Для дрібних та середніх чавунних виливків безопочне формування є одним із найбільш ефективних способів організації виробництва.

4.Розробка технологічного процесу виготовлення відливка

Технологічний процес виготовлення виливка «Маточина» розробляється з урахуванням конструкції деталі, матеріалу, типу виробництва та можливостей застосовуваного обладнання. Основною метою розробки процесу є отримання якісної литої заготовки із сірого чавуну СЧ200 при мінімальних витратах матеріалів, енергії та трудових ресурсів.

Для виготовлення виливка обрано метод лиття у разові піщано-глинисті форми, виготовлені на автоматичній безопочній формувальній лінії Z426. Даний спосіб забезпечує високу продуктивність, стабільність геометричних параметрів форми та можливість автоматизації основних технологічних операцій [1, 2].

Технологічний процес включає такі основні етапи:

- підготовка формувальної та стержньової сумішей;
- виготовлення стержнів;
- формування напівформ на лінії Z426;
- установлення стержнів і складання форм;
- плавлення чавуну в індукційній печі;
- заливання металу у форми;
- охолодження та кристалізація виливка;
- вибивка форми;
- очищення та обрубка виливка;
- контроль якості готової заготовки

4.1 Вибір обладнання для виготовлення ливарних форм та стержнів

Для плавлення чавуну СЧ200 застосовуємо індукційну тигельну піч ІЧТ-2,5/1,0. Використання індукційної печі забезпечує високу якість металу, точне регулювання температури та мінімальні втрати металу на угар [3], технічна характеристика якої наведена в табл. 4.1.

Технічна характеристика тигельної індукційної печі промислової частоти марки ІЧТ-2,5/1,0.

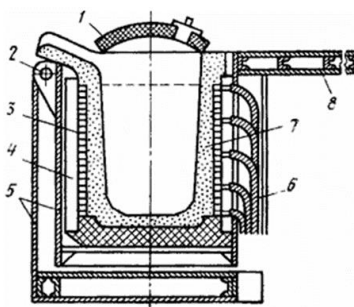
Таблиця 3.2 - Технічна характеристика печі ІЧТ-2,5/1,0

Найменування параметрів	Одиниця вимірювання	Числове значення
Продуктивність	т/год	1,25
Установлена потужність	кВт	1000
Витрати електроенергії	кВт год/тон	650...700
Угар і безповоротні втрати	%	від 2 до 4%
Робоча температура плавки	°С	1400...1550

Індукційна піч забезпечує швидке плавлення чавуну, точне регулювання температури та мінімальний угар металу, що особливо важливо для отримання якісного виливка.

Перевагами індукційної печі є:

- висока швидкість плавлення;
- можливість точного контролю хімічного складу металу;
- низький рівень окиснення та угару;
- екологічність процесу;
- зручність автоматизації.



1 — кришка; 2 вузол повороту; 3 — індуктор ; 4 — магнітопровід;
5 — металоконструкція, 6 — підводи водяного охолодження, 7 — тигель, 8 - площадка

Рисунок 1 - Схема електричної індукційної печі типу ІЧ

Формувальна суміш для лінії Z426 готується у бігунах безперервної дії. Для приготування єдиної піщано-глинистої суміші використовуються бігуни моделі 15104, технічна характеристика яких наведена у табл.

Таблиця - Технічна характеристика бігунів моделі 15104

Параметр	Значення
Продуктивність	10–15 т/год
Ємність чаші	1000 кг
Потужність приводу	30 Вт

Бігуни забезпечують: рівномірне змішування компонентів; підтримання необхідної вологості; високу якість формувальної суміші. забезпечення однорідності та необхідних технологічних властивостей, перемішування компонентів суміші;

Для формування центрального отвору маточини використовується піщаний стержень, виготовлений за Cold-Vox-процесом. Доцільно застосувати стержневу машину типу SB-10.

Переваги Cold-Vox-процесу:

- висока точність стержнів;
- значна міцність;
- відсутність необхідності сушіння;
- скорочення тривалості виробничого циклу [4].

Враховуючи невелику масу вилівка (0,9 кг), серійний характер виробництва та можливість розміщення шести вилівок у формі розміром 600×500×130 мм, для виготовлення ливарних форм обрано автоматичну безопочну формувальну лінію Z426.

Застосування даної лінії забезпечує високу продуктивність, стабільність геометричних параметрів форм і раціональне використання площі форми. Використання опочних ліній типу HWS для даного виливка є менш ефективним через збільшення матеріаломісткості оснащення та зниження коефіцієнта використання формувальної площі.

Лінія призначена для виготовлення ливарних форм із піщано-глинистої суміші методом вертикального пресування.

Основною особливістю даного обладнання є відсутність традиційних опок. Висота нижнього та верхнього кому відповідає габаратним розмірам виливка, який є основним для конструювання, технічна характеристика лінії приведена в табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика автоматичної формувальної лінії Z426

Найменування параметрів	Одиниця вимірювання	Числове значення
Модель	-	Z426
Розмір форми	мм	610×508
Висота форми	мм	130...180
Виготовлення форми	с	40...45
Тиск стисненого повітря	МПа	0,5...0,6
Витрати стисненого повітря	МПа	2
Робочий тиск мастила	МПа	10,6
Потужність	кВт	18,5
Витрати формувальної суміші	т/год	10,5...17



Рисунок 2 - Формувальна автоматична лінія Z426

Технологічний процес формування заключається у наступному:

1. На формувальному пресі автоматичної лінії виготовляється напівформа низу.
2. Наступна операція це обдування стисненим повітрям, де видаляються зайві частинки формувальної суміші.
3. Виготовлені стержні вставляються в напівформу низу автоматично.
4. Далі по рольганам напівформа верху рухається до формувального пресу, де відбувається формування верхньої напівформи.
5. Далі на форми ставиться жакет по лінії роз'єму форми. Зверху на форму ставиться фіксуєча пластина на якій є отвори для заливання металу.
6. Далі забрана форма переміщується в зону заливання (див.рис.).Заливання здійснюється автоматичним заливником з ковшем ємністю 250 кг. Чавун повинен бути без шлаку.
7. Після заповнення форм вони переміщуються по конвеєру у зону охолодження. Відбувається кристалізація та структуроутворення чавуну.
8. Далі форми надходять у вибивну установку. Виливки відокремлюються від формувальної суміші. Ливникова система та живильники відрізаються.
9. Виливки подаються у дробометну камеру Tumbblast виробництва Wheelabrator.
10. Виливки завантажуються у обертовий барабан, де вони постійно переміщуються. Потік сталевого дробу, що подається турбінами з великою швидкістю, очищує поверхню деталей від залишків суміші та оксидних плівок.
- 11.Після очищення здійснюється: - візуальний контроль, - перевірка геометричних параметрів,- контроль відсутності дефектів.

Для виготовлення стержнів використовуємо CORE 10 EP (рис.3),
технічна характеристика наведена в табл.

Основні характеристики:

- виготовлення стержнів холоднотвердіючим або газотвердіючим

способом;

- висока точність геометрії;
- автоматичне дозування суміші;
- стабільна щільність стержнів;
- можливість серійного виготовлення дрібних і середніх стержнів.

Застосування автомата забезпечує отримання внутрішніх порожнин вилівка без перекосів і дефектів.

Внутрішня порожнина маточини має складний ступінчастий профіль (\varnothing 40 мм, \varnothing 44 мм, \varnothing 52 мм). Для забезпечення чистоти поверхні та точності посадкових місць обрано технологію Cold-box-amin (затвердіння у «холодному ящику» шляхом продувки аміном). Технічна характеристика стержневої машини CORE 10 EP наведена у табл.3.3.



Рисунок 3 - Стержнева машина марки CORE 10 EP

Таблиця 3.3 – Технічна характеристика стержневої машини CORE 10 EP

Об'єм піскострельної головки	Значення	Од.вим.
Об'єм постріл	10	дм ³
Оснащення		
max висоту ящика	480	мм
min	230	мм
max ширина ящика	695	мм
max глибина	650	мм
Розміри бокових затискних плит	200x400	мм
Розміри затискної зони	440x500	мм
Розміри піскострельної площі макс	300x500	мм
Розміри піскострельної площі мін	60x300	мм
Вага		
Макс вага ящика	150	кг

Вага машини	5000	кг
Робоче переміщення		
макс хід столу	275	мм
макс хід бокових циліндрів	550	мм
макс хід виштовхуючої плити	40	мм
Базовий час циклу		
при горизонтальній лінії рознімання	13	сек
при вертикальній	17	сек

Приготування піщано-глинистої формувальної суміші здійснюється у змішувачі безперервної дії SAM-3 виробництва DISA.

Технічна характеристика змішувача SAM-3 приведена в табл.3.4.

Таблиця 3.4. Технічна характеристика змішувача SAM-3

№ п/п	Характеристика	Показник, розмірні величини
1	тип роботи	безперервний
2	продуктивність	до 3 т/год;
3	робочий об'єм камери	близько 0,3 м ³

Очищення виливків після вибивання здійснюється у дробометній установці барабанного типу Tumbblast виробництва Wheelabrator.

Основні характеристики дробометної камери приведені у табл. 3.5.

Таблиця 3.5. Технічна характеристика дробометної камери Tumbblast

№ п/п	Параметри	Значення, одиниці вимірювання
1	тип установки	барабанна дробометна
2	маса завантаження	200–500 кг за цикл
3	продуктивність	до 1–2 т/год;
4	кількість дробометних турбін	1–2 шт.
5	швидкість обертання барабана	Регульована
6	робоче середовище	сталевий дріб
7	система очищення дробу	автоматична

На зачисних верстатах виливки зачищаються від заусениць, перекосів, залишків. Характеристику зачисного верстату моделі 4581 приведено у табл. 3.6.

Таблиця 3.6. Технічні характеристики зачисного верстату моделі 4581

№ п/п	Параметри	Значення
1	Продуктивність, т/год	0,25...0,30
2	Зернистість	80...125
3	Маса виливків, що зачищаються, кг	До 100
4	Діаметр абразивного круга, мм	600
5	Габаритні розміри, мм	5500x3870

4.2. Вибір положення виливка у формі та визначення площини роз'єму

Раціональне розташування виливка у ливарній формі є одним із визначальних факторів отримання якісної заготовки, оскільки від вибраного положення залежать умови заповнення форми металом, характер кристалізації та ймовірність утворення дефектів. Положення деталі «Маточина сошника» обиралось з урахуванням її конструктивних особливостей, способу формування та подальшої механічної обробки.

Аналіз креслення показує, що деталь має фланцеву конструкцію з центральною ступицею та осьовим отвором. Основний об'єм металу зосереджений у зоні маточини, тоді як фланець має меншу товщину. Така конфігурація дозволяє орієнтувати виливок у формі вертикальною віссю симетрії.

Найбільш доцільним є розташування деталі таким чином, щоб площина фланця знаходилась у площині роз'єму форми. У цьому випадку верхня і нижня напівформи формують основні зовнішні поверхні без утворення піднутрень, що значно спрощує модельну оснастку та підвищує надійність автоматичного формування [4].

Обране положення має ряд технологічних переваг:

забезпечується рівномірне заповнення порожнини форми розплавом від масивної частини до тонших елементів;

- зменшується небезпека утворення газових включень у зоні центральної маточини;
- створюються сприятливі умови спрямованої кристалізації металу;
- спрощується встановлення стержня для формування центрального отвору.

Центральний отвір деталі формується стержнем, який встановлюється вертикально та фіксується у знаках напівформ. Таке розташування забезпечує його стійкість під час заливання і виключає зміщення під дією металостатичного тиску [5].

Площину роз'єму доцільно проводити через середину фланцевої частини, оскільки саме в цій зоні відсутні складні профільні елементи, а більшість поверхонь має просту геометрію. Це дозволяє мінімізувати висоту виступів у напівформах і забезпечити легке вилучення моделі без пошкодження формувальної суміші.

Крім того, розташування найбільш масивної частини в нижній напівформі підвищує стабільність положення виливка та зменшує ризик утворення перекосів під час складання форми. Верхня напівформа при цьому виконує функцію формування менш навантажених поверхонь і забезпечує вихід газів через вентиляційні канали.

Таким чином, прийняте положення виливка з горизонтальною площиною роз'єму, що проходить через фланець деталі, є технологічно обґрунтованим. Воно забезпечує простоту формування, надійне встановлення стержнів, сприятливі умови заповнення форми та отримання виливка стабільної якості з мінімальною ймовірністю дефектів.

4.3. Вибір ливарних ухилів, радіусів заокруглення

та припусків на механічну обробку

При проектуванні технології виготовлення виливка одним із важливих етапів є введення технологічних елементів, які забезпечують можливість

стабільного формування, вилучення модельної оснастки та подальшої механічної обробки. До таких елементів належать ливарні ухили, радіуси заокруглення та припуски на обробку різанням.

Ливарні ухили передбачаються для запобігання руйнуванню стінок форми під час витягування моделі. При машинному формуванні у піщано-глинистих формах високого тиску величина ухилів може бути меншою, ніж при ручному формуванні, оскільки формувальна суміш має підвищену міцність і стабільність [4].

З урахуванням конструкції деталі та способу формування приймаються такі значення:

- для зовнішніх вертикальних поверхонь — $0,5-1^\circ$;
- для внутрішніх поверхонь — $1-1,5^\circ$.

Збільшення ухилу для внутрішніх поверхонь обумовлене складнішими умовами вилучення моделі та більшим тертям між моделлю і формувальною сумішшю. Призначені значення не впливають на функціональні характеристики деталі, оскільки надалі ці поверхні підлягають механічній обробці.

Галтелі (радіуси заокруглень) є критично важливими для запобігання концентрації напружень у кутах та виникнення «гарячих тріщин» під час охолодження чавуну СЧ200. Крім того, вони запобігають осипанню гострих кутів піщаної форми під час заливання металу.

Різкі переходи між поверхнями у ливарних деталях є небажаними, оскільки вони викликають концентрацію напружень і порушують плавність руху металу під час заповнення форми. Крім того, гострі кути сприяють локальному перегріву та нерівномірному охолодженню, що може призводити до утворення тріщин або відбілу чавуну [3]. Радіус заокруглення розраховується залежно від товщини стінок деталі, що сполучаються (s та s_1). За емпіричною формулою [9].

$$R = \frac{s+s_1}{3} \dots \frac{s+s_1}{5}$$

Для маточини, де середня товщина стінок становить 8–10 мм, приймаємо конструктивний радіус $R=3\dots 5$ мм. Це забезпечує плавність переходу від

фланця до ступінчастої частини маточини.

З метою покращення умов формування та кристалізації у конструкцію виливка вводяться радіуси заокруглення:

- у місцях переходу стінок — 3–5 мм;
- у зонах переходу маточини до фланця — 5–8 мм;
- для внутрішніх кутів — не менше 3 мм.

Наявність заокруглень забезпечує плавний рух металу, зменшує турбулентність потоку та сприяє формуванню однорідної структури матеріалу.

Припуски на механічну обробку призначаються для видалення поверхневого шару металу, який може мати підвищену шорсткість, окалину або незначні відхилення розмірів, що виникають у процесі лиття. Їх величина залежить від способу формування, габаритів деталі та вимог до точності готового виробу [1].

Оскільки виливок виготовляється на автоматичній формувальній лінії високого тиску, точність лиття є відносно високою, що дозволяє приймати зменшені припуски.

Для деталі «Маточина» приймаємо:

- для оброблюваних торцевих поверхонь — 2,0–2,5 мм;
- для зовнішніх циліндричних поверхонь — 2,0 мм;
- для центрального отвору — 2,5–3,0 мм на діаметр.

Такі значення забезпечують гарантоване отримання необхідної точності після механічної обробки та одночасно дозволяють зменшити перевитрати металу.

Призначені ливарні ухили, радіуси заокруглення та припуски на механічну обробку відповідають умовам машинного формування у піщано-глинистих формах і конструктивним особливостям деталі. Запропоновані параметри забезпечують надійність процесу виготовлення, зменшення кількості дефектів та отримання заготовки, придатної для подальшої обробки з мінімальними витратами матеріалу і часу.

Оскільки внутрішня порожнина маточини ($\varnothing 40, \varnothing 44, \varnothing 52$) формується

стержнем, необхідно передбачити знакові частини — ділянки стержня, що виходять за межі вилівка та фіксують його в опоці.

Згідно з рекомендаціями щодо конструювання ливарної оснастки [10]:

1. Довжина знака (l): При діаметрі отвору близько 40–50 мм довжина знака приймається рівною 20–25 мм з кожного боку.
2. Уклони на знаках: Для зручності встановлення стержня у форму на торцях знаків призначаються уклони 5° – 10° . Між знаковою частиною стержня та гніздом у формі передбачається зазор 0,2–0,5 мм для компенсації теплового розширення та зручності збирання форми [11].

5. Розрахунок і конструювання ливникової системи

5.1. Визначення габаритних розмірів опоки та кількості виливків у формі

При виготовленні виливків на автоматичних формувальних лініях розміри опок є стандартизованими та визначаються конструкцією обладнання. Для безопочної формувальної лінії застосовуються опоки розміром: 507×610 мм

У зв'язку з цим розрахунок габаритів опоки не виконується, а здійснюється раціональне компонування модельної плити з максимально можливим використанням площі форми [4].

Габаритні розміри вилівка «Маточина сошника»:

- зовнішній діаметр — 112 мм;
- висота — 42 мм.

Для забезпечення міцності форми та правильного розміщення ливникової системи приймаються технологічні відстані:

Розміри опоки повинні забезпечувати розміщення моделі, ливникової системи та необхідного шару формувальної суміші, який запобігає прориву металу та руйнуванню форми.

Для забезпечення міцності форми та правильного розміщення ливникової системи приймаються технологічні відстані:

- між сусідніми виливками — 30...40 мм;
- від краю опоки — не менше 40 мм [3].

Приймаємо крок розташування виливків:

$$S=112+40=152 \text{ мм}$$

Мінімальна відстань від контуру виливка до стінки опоки для чавунних виливків малої маси приймається: зверху — 40...50 мм; знизу — 30...40 мм [3].

Максимальний діаметр деталі: $D=112 \text{ мм}$

Приймаємо бічний запас 40 мм з кожного боку: $L=112+2\cdot 40=192 \text{ мм}$

Округлюємо до стандартного розміру автоматичної лінії: $L_{оп}=200 \text{ мм}$

Висота форми визначається як: $H_{оп}=h_{дет} + h_{верх} + h_{низ}$

Де $h_{дет} = 42 \text{ мм}$ — ширина деталі.

Приймаємо: верхня напівформа — 50 мм, нижня напівформа — 40 мм.

$$H_{оп}=42+50+40=132 \text{ мм.}$$

Приймаємо стандартну висоту: $H_{оп}=130 \text{ мм}$

Розміщення по стороні 500 мм . $n_1 = \frac{500-2\cdot 40}{152} = 2,76 \text{ шт.}$ Приймаємо: $n_1 = 3$ виливки.

5.2.Визначення маси металу, що заливається у форму

Загальна маса металу включає масу виливка та метал ливникової системи:

$$G_{хзан} = G_{в} + G_{лс}, \quad (5.1)$$

де $G_{в}$ — маса виливка, кг;

$G_{лс}$ — маса металу ливникової системи.

Для малих чавунних виливків масу ливникової системи приймають 25–35 % від маси виливка [3].

Приймаємо:

$$G_{\text{лс}} = 0,3 \cdot 0,9 = 0,27 \text{ кг}$$

Тоді: $G_{\text{зар}} = 0,9 + 0,27 = 1,17 \text{ кг}$

Маса одного вилівка: $G_{\text{в}} = 0,9 \text{ кг}$

Загальна маса металу:

$$\Sigma G = 1,17 \cdot 6 = 7,02 \text{ кг}$$

Час заливання визначається залежно від маси вилівка та виду сплаву. Для сірого чавуну невеликої маси рекомендований інтервал становить 3–6 с, табл.5.1.

Таблиця 5.1 - Рекомендована тривалість заливки для сірого чавуну

Маса вилівка, кг	Рекомендована тривалість
до 5 кг	3–6 с
5–10 кг	8–12 с

Для сірих чавунів час заливки визначають залежно від маси вилівка за емпіричною залежністю [4]:

$$t = k \sqrt[3]{G}, \quad (5.2)$$

де

G — маса металу, кг;

k — коефіцієнт (для чавуну 3,5–4,5).

Загальна маса металу (з урахуванням ливникової системи): $G = 1,17 \text{ кг}$

$$t = k \sqrt[3]{G},$$

$$t = 4 \cdot \sqrt[3]{1,17} = 4 \cdot 1,05 = 4,2 \text{ с},$$

Приймаємо: $t = 4,2 \text{ с}$

Такий час відповідає умовам машинного заливання та виключає недоливи.

Визначення витрати металу

$$\text{Витрата металу: } Q = \frac{G_{\text{зар}}}{\rho \cdot t}. \quad (5.3)$$

де ρ — густина рідкого чавуну, $\rho \approx 7100 \text{ кг/м}^3$).

$$Q = \frac{1,17}{7100 \cdot 4,2} \approx 4,18 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}$$

Об'єм металу

$$V = \frac{G_{\Sigma}}{\rho}, \quad (5.4)$$

$$V = \frac{G_{\Sigma}}{\rho} = \frac{6300}{7,0} \approx 875 \text{ см}^3,$$

Витрата металу

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{875}{4,2} \approx 125 \text{ см}^3/\text{с},$$

5.3. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи

Загальна площа перерізу ливникової системи

$$F_{\Sigma} = \frac{Q}{\mu \sqrt{2gH}}, \quad (5.5)$$

де μ — коефіцієнт витрати (0,42);

$g=9,81 \text{ м/с}^2$;

H — металостатичний напір (приймаємо 0,15 м для невеликої форми).

Обчислюємо швидкість витікання:

$$\sqrt{2gH} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,121} \approx 1,2 \text{ м/с}$$

$$v = \mu \sqrt{2gH} = 0,42 \cdot 1,2 \approx 1,71 \text{ м/с}$$

Тоді площа:

$$F = \frac{4,18 \cdot 10^{-5}}{1,20} \approx 3,48 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

$$F \approx 3,48 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Загальна площа перерізу ливникової системи

$$F \approx 0,35 \text{ см}^2$$

Визначимо площу круглого перерізу:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad (5.6)$$

$$d_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{ст}}}{\pi}} \quad (5.7)$$

$$d_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,35}{3,14}} \approx \sqrt{\frac{1,8}{3,14}} \approx 11,3 \text{ с}$$

Приймаємо стандартне технологічне значення:

$$d_{\text{ст}} = 15 \text{ мм (з урахуванням технологічного запасу.)}$$

Збільшення діаметра забезпечує стабільність заливання та враховує можливі втрати швидкості потоку.

Розрахунок живильників

Для виливків із сірого чавуну СЧ200 усадка невелика, однак масивна центральна частина маточини потребує компенсації об'ємних змін при кристалізації.

Живильники забезпечують: підживлення металом; усунення усадкової пористості; направлене твердіння [4].

Сумарна площа:

$$\sum F_{\text{ж}} = \frac{G_{\text{мет}} \cdot 1000}{\rho \cdot t \cdot \mu \sqrt{2 \cdot g H_p}}, \quad (5.8)$$

$$\begin{aligned} \sum F_{\text{ж}} &= \frac{1,17 \cdot 1000}{7,100 \cdot 4,2 \cdot 0,42 \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 12}} = \frac{1,17 \cdot 1000}{7,100 \cdot 4,2 \cdot 0,42 \sqrt{23544}} \\ &= 0,000609 = 6,09 \text{ см}^2 \end{aligned}$$

де μ - коефіцієнт витрати. Приймаємо $\mu = 0,42$ [13];

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

H_p - розрахунковий статичний напір, м.

Так як обрано заливку металу по роз'єму форми, то статичний напір розраховується за формулою:

$$H_p = H_0 - \frac{p^2}{c}, \quad (5.9)$$

де H_0 - висота металу в чаші, $H = 130$ мм;
 p - висота відливка над рівнем підйому металу, $p = 12$ мм;
 c - загальна висота відливка, $c = 42$ мм.

$$H_p = 130 - \frac{12^2}{42} = 112 \approx 121 \text{ мм.} = 12,2 \text{ см}$$

$$\sum F_{\text{ж}} = \frac{1,17 \cdot 1000}{7100 \cdot 4 \cdot 0,45 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,121}} = 0,000609 = 6,1 \text{ см}^2$$

Тоді знайдемо

$$F_{\text{ж1}} = \frac{\sum F_{\text{ж}}}{n}, \quad (5.10)$$

де n - кількість живильників, $n = 6$ шт.

$$F_{\text{ж1}} = \frac{6,1}{6} = 1,017 \text{ см}^2$$

$a = 13$ мм

$b = 10$ мм

$h = 8$ мм

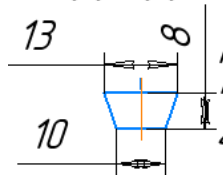


Рисунок 5.1 - Переріз шлаковловлювача

За знайденою величиною знаходимо площу шлаковловлювача за співвідношення [13]

$$\sum F_{\text{ж}} : \sum F_{\text{шл.}} : \sum F_{\text{ст}} = 1 : 1,1 : 1,5, \quad (5.11)$$

Знаючи площу живильника ми визначаємо площі шлаковловлювачів

$$\sum F_{\text{шл}} = \sum F_{\text{ж}} \cdot 1,1, \quad (5.12)$$

$$\sum F_{\text{шл}} = 6,1 \cdot 1,1 = 6,6 \text{ см}^2$$

Приймаємо $\sum F_{\text{шл}} = 6,6 \text{ см}^2$

$$F_{\text{шл1}} = \sum F_{\text{шл}} / 2, \quad (5.13)$$

$$F_{\text{шл1}} = \frac{\sum F_{\text{шл}}}{2} = \frac{6,6}{2} = 3,3 \text{ см}^2$$

Приймаємо $F_{\text{шл1}} = 3,3 \text{ см}^2$.

В зв'язку з технологічною необхідністю приймаємо переріз шлаковловлювача площею $3,32 \text{ см}^2$, з розмірами (рис. 4.4):

Із довідника підбираємо розміри шлаковловлювача

$a = 18 \text{ мм}$; $b = 14 \text{ мм}$; $h = 18 \text{ мм}$

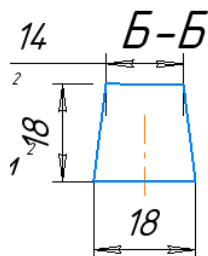


Рисунок 5.2 - Переріз шлаковловлювача

Сумарна площа стояка

$$\sum F_{\text{ст}} = \sum F_{\text{ж}} \cdot 1,5, \quad (5.14)$$

$$\sum F_{\text{ст}} = 6,1 \cdot 1,5 = 9,15 = 9,2 \text{ см}^2$$

Приймаємо один стояк площею $9,0 \text{ см}^2$ то діаметр визначимо з формулою:

$$d_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{ст}}}{\pi}}, \quad (5.15)$$

де F – це площа стояка, см^2 ;

$$d_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,2}{3,14}} \approx \sqrt{\frac{32,8}{3,14}} \approx 3,1 \text{ см}$$

Прийmemo $d_{\text{ст}} = 33 \text{ мм}$

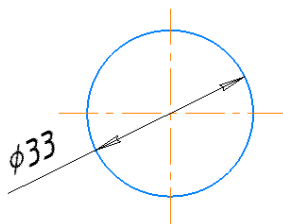


Рисунок 5.3 - Переріз стояка

Розрахунок ливникової воронки:

$$D_{\text{в}} = (2,7 \dots 3) D_{\text{ст}} \quad (5.16)$$

$$D_{\text{в}} = 2,7 \cdot 33 = 81 \text{ мм}$$

На рис. 4.3 показано переріз воронки.

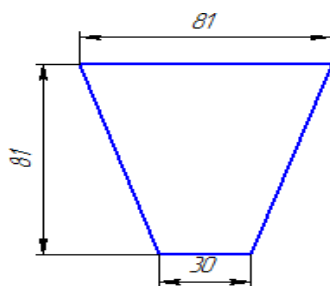


Рисунок 5.4 - Переріз воронки

Застосування трапецієподібного перерізу каналів ливникової системи забезпечує плавний рух металу, зменшення турбулентності потоку та ефективне відділення шлакових включень. Розраховані параметри шлаковловлювача та живильників гарантують стабільне заповнення форми й отримання щільної структури вилівка із сірого чавуну СЧ200 [18,19].3,4

Виконані розрахунки показують, що прийняті розміри елементів ливникової системи забезпечують заповнення форми за оптимальний час без виникнення турбулентного руху металу. Обрана схема відповідає умовам лиття сірого чавуну у піщано-глинисті форми на автоматичній безопочній лінії та гарантує отримання якісного вилівка.

5.Опис технологічного процесу виготовлення виливка

5.1 Вибір та приготування формувальної і стержневої суміші

Для виготовлення форм на лінії Z426 застосовується єдина піщано-глиниста суміш на основі кварцового піску та бентонітової глини. Такі суміші широко використовуються в автоматизованому виробництві завдяки високій формувальній здатності та можливості багаторазової регенерації [20]. Склад та механічні властивості стержневої та формувальної суміші приведені у табл. 5.1, 5.2.

Таблиця 5.1 - Склад і фізико-механічні властивості єдиної формувальної суміші

Складова суміші і параметри	Одиниці	Числове значення
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

Застосування бентоніту підвищує пластичність суміші та її здатність витримувати високий тиск ущільнення на автоматичній лінії. Вуглецеві добавки покращують якість поверхні виливка та зменшують пригар металу [19].

Для виготовлення стержнів використовується піщано-смоляна суміш, яка забезпечує високу міцність після термічного твердіння та легке руйнування після охолодження виливка [18].

Таблиця 5.2 - Склад стержневої суміші і її фізико-хімічні властивості

Складові суміші і властивості	Одиниці	Числове значення
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

Стержні для формування центрального отвору виготовляються із холоднотвердіючої суміші, що забезпечує високу точність і стабільність розмірів.

5.2 Формовка ливарної форми та її збирання

Формування ливарних форм здійснюється на автоматичній безопочній формувальній лінії Z426 методом вертикального пресування [16].

Безопочне формування є одним із найбільш прогресивних способів виготовлення форм у серійному виробництві. Його особливістю є відсутність металевих опок, що дозволяє знизити витрати на оснащення та підвищити продуктивність праці [16,17].

Процес формування складається з декількох послідовних операцій.

На початку циклу формувальна суміш із витратного бункера подається до формувальної камери машини. Модельна плита розташовується між рухомою та нерухомою плитами формувального агрегату.

Після заповнення камери суміш ущільнюється під дією гідравлічного преса. У результаті ущільнення формується відбиток моделі та елементів ливникової системи.

Після завершення пресування модельна плита відводиться, а готова форма виштовхується на конвеєр. Наступна форма виготовляється аналогічним способом і притискається до попередньої, утворюючи безперервний ряд форм для заливання металом [16].

5.3 Збирання форм

Після виготовлення форм виконують операцію складання.

Метою складання є забезпечення правильного взаємного розташування всіх елементів форми та встановлення стержнів, які утворюють внутрішні порожнини вилівка [15].

Перед установленням стержні перевіряють на відсутність пошкоджень, тріщин та деформацій. Після цього вони встановлюються у відповідні стержневі знаки.

Для запобігання пригару та покращення якості поверхні вилівка робочі поверхні стержнів покривають протипригарною фарбою на основі графіту або циркону [14].

Під час складання особливу увагу приділяють:

- точності встановлення стержнів;
- співвісності елементів форми;
- правильності збирання напівформ;
- чистоті порожнини форми [13]. 1

Після завершення складання форми надходять на заливальний конвеєр.

5.3 Заливання ливарної форми металом

Плавлення чавуну СЧ200 здійснюється в індукційній тигельній печі. Індукційний спосіб плавлення забезпечує високу якість металу, рівномірний хімічний склад та точне регулювання температури [3].

Після досягнення необхідної температури метал випускають у чайниковий ковш. Перед заливанням проводять очищення поверхні металу від шлаку.

Температура заливання для чавуну СЧ200 приймається в межах 1380–1420 °С [21].

Заливання здійснюється через ливникову систему.

Метал через ливникову чашу проходить стояк та надходить у шлаковловлювач, де затримуються неметалеві включення. Далі через живильники він рівномірно заповнює порожнину форми [22].

Правильно спроектована ливникова система забезпечує:

- спокійне заповнення форми;
- мінімальне окиснення металу;
- затримання шлакових включень;
- спрямовану кристалізацію виливка [23].

Після заливання форми переміщуються по охолоджувальному конвеєру, де відбувається тверднення та охолодження металу.

5.5 Вибивка і обрубка

Після завершення кристалізації та охолодження форми надходять на вибивну установку.

Вибивка здійснюється на вібраційній решітці. Під дією коливань формувальна суміш руйнується та відокремлюється від виливка [5].

Відпрацьована суміш надходить на регенерацію для подальшого повторного використання.

Після вибивки виконують обрубку виливків. До операцій обрубки належать:

- відділення ливникової системи;
- видалення залишків живильників;
- зачищення місць зрізу;
- усунення задирок.

Очищення поверхні вилівка здійснюється в дробометній установці барабанного типу. Під дією металевого дробу видаляються залишки формувальної суміші, пригар та окалина [4].

Після очищення проводиться контроль якості вилівка, який включає:

Після успішного проходження контролю вилівки передаються на механічну обробку.

6. Опис проектування ливарного оснащення

Ливарне оснащення є сукупністю технологічних пристроїв, необхідних для виготовлення ливарних форм, стержнів та отримання виливків заданої конфігурації. Від правильності проектування оснащення залежить якість виливків, продуктивність формувальної лінії та економічність виробництва [13].

При серійному виробництві з метою довговічності модельних комплектів застосовують металеві моделі.

Для виготовлення форм в основному використовують сталі та чавуни. Жакети виготовляються суцільні. В стінках виконують вентиляційні отвори для газопроникненості суміші.

Промомоделі виготовляються із сірого чавуну. Обов'язково передбачаються припуски на механічну обробку деталі, а також усадку чавуну, формувальні ухили, радіуси галтелей а також враховують розташування площини рознімання.

Оскільки вилівок має вісь симетрії, площину рознімання прийнято по осі деталі. Таке рішення забезпечує просте вилучення моделі із форми та зменшує ймовірність пошкодження формувальної суміші під час формування [1].

Лінійна усадка для сірого чавуну СЧ200 становить приблизно 1 %, тому всі розміри моделі збільшуються на величину усадки.

Для поверхонь, що підлягають механічній обробці, передбачені припуски 2,5–3 мм на сторону.

Модельний комплект виконується металевим, що забезпечує високу зносостійкість та тривалий термін експлуатації в умовах серійного виробництва

Для формування центрального отвору маточини використовується піщаний стержень.

Стержневий ящик призначений для виготовлення стержнів необхідної форми та розмірів.

Конструкція стержневого ящика вибирається з урахуванням:

- геометрії отвору;
- способу виготовлення стержня;
- можливості виймання готового стержня без пошкодження.

Для даного вилівка застосовується рознімний металевий стержневий ящик.

Основними перевагами металевого стержневого ящика є:

- висока точність;
- довговічність;
- можливість автоматизації процесу виготовлення стержнів.

У конструкції передбачаються вентиляційні канали для відведення газів, що утворюються під час тверднення стержневої суміші [6].

Прийнято, що ступінь характеристики відливка стержневого ящика є складною і основні його розміри є більшими ніж 100 мм при товщині стінки 15 мм, то рекомендовану лінійну усадку для алюмінієвого сплаву приймати рівним 1,1 % [24].

Товщина ребр жорсткості становить 0,7...0,8 товщини стінки ящика, товщина бортів - 1,25...1,3 товщини стінок.

Радіус галтелей приймаємо рівний 5мм. Припуск на механічну обробку 0,4 мм. Відстань між ребрами жорсткості має бути не більше 300 мм. Ребра та стінки ящика повинні мати формувальні ухили в межах 1° ... $1^{\circ}30'$ [25].

ВИСНОВКИ

У бакалаврській роботі виконано розробку технології виготовлення виливка «Маточина сошника Н105.03.101» із сірого чавуну СЧ200 в умовах серійного виробництва із застосуванням автоматичної безопочної формувальної лінії Z426.

У процесі виконання роботи було проведено аналіз конструкції деталі та встановлено, що її конфігурація є технологічною для виготовлення методом лиття у піщано-глинисті форми. Виливок характеризується відносно простою геометрією, наявністю внутрішньої порожнини та незначною масою, що забезпечує можливість його ефективного виробництва на автоматизованому формувальному обладнанні.

На підставі аналізу умов експлуатації деталі обґрунтовано вибір матеріалу виливка — сірого чавуну СЧ200, який поєднує добрі ливарні властивості, достатню механічну міцність, високу зносостійкість та добру оброблюваність різанням.

У роботі виконано вибір способу виготовлення виливка та доведено доцільність використання автоматичної безопочної формувальної лінії Z426. Застосування даної технології забезпечує високу продуктивність виробництва, стабільну якість форм, зниження трудомісткості процесу та ефективне використання формувальних матеріалів.

Визначено раціональне положення виливка у формі, обрано площину рознімання, призначено припуски на механічну обробку, формувальні ухили, радіуси галтелей та величину ливарної усадки. Для формування внутрішньої порожнини деталі передбачено використання стержня, конструкцію якого узгоджено з особливостями виробу та прийнятим способом формування.

Виконано розрахунок і конструювання ливникової системи, що забезпечує рівномірне та спокійне заповнення форми рідким металом, затримання шлакових включень і створення умов для спрямованого тверднення виливка. Розроблена ливникова система відповідає вимогам до виготовлення

чавунних виливків невеликої маси та забезпечує отримання якісних заготовок без ливарних дефектів.

Для реалізації технологічного процесу підібрано комплекс основного та допоміжного обладнання, який включає індукційну плавильну піч, обладнання для приготування формувальних і стержньових сумішей, автоматичну безопочну формувальну лінію Z426, заливальне обладнання, вибивні та очисні установки. Обране обладнання забезпечує механізацію та автоматизацію основних виробничих операцій.

Розроблено технологічний процес виготовлення виливка, що включає підготовку формувальних матеріалів, виготовлення форм і стержнів, складання форм, плавлення та заливання металу, охолодження, вибивку, очищення та контроль готової продукції. Визначено склад формувальної та стержньової сумішей, а також основні технологічні параметри процесу.

У роботі також виконано проектування ливарного оснащення, яке включає модельний комплект, модельну плиту, стержневий ящик та елементи ливникової системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. Олійник В.О., Шинський О.Й. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів. — Київ: Вища школа, 2019. — 432 с.
2. ДСТУ 8833:2019. Виливки з чавуну. Загальні технічні умови. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
3. Болдін А. М., Давидов М. О. Ливарні формувальні матеріали. Київ : НТУУ «КПІ», 2019. 312 с
4. Обладнання ливарних цехів / В.Г. Пономаренко. — Харків: НТУ «ХПІ», 2016. — 310 с.
5. Технологія виготовлення виливків із чавуну / С.П. Єрмаков. — Дніпро: НМетАУ, 2018. — 275 с.
6. Beeck A. Foundry Technology. — Düsseldorf: VDG Verlag, 2013. — 410 p.
- 7 DISA Industries. Green Sand Molding Technology Handbook. —Taastrup, 2018.
- 8.Технологічне обладнання ливарних цехів : навчальний посібник / за ред. В. Ф. Хорунова. Київ : Кондор, 2020
9. Акімов О.В. Проектування ливарних цехів та технологічних процесів. — Київ: Каравела, 2020.
- 10.Олійник В.О., Шинський О.Й. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів. — Київ: Вища школа, 2019. — 432 с.
11. Федоров В.Г. Проектування технологічних процесів виготовлення виливків. — К.: Техніка, 2012.
12. Г. Є. Федоров, М. М. Ямшинський, В. Г. Могилатенко [та ін.]. Проектування ливарних цехів. Ч.1: підручник – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 588 с
- 13 Хорунов В. Ф. *Ливарне виробництво чорних і кольорових металів*. Київ : Кондор, 2018.
- 14 Болдін А. М., Давидов М. О. *Ливарні формувальні матеріали*. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.
- 15 Назаренко І. І., Пономаренко О. М. *Технологія ливарного виробництва*. Київ : Каравела, 2020.
- 16 DISA Vertical Moulding Technology.

- 17 Технологічне обладнання ливарних цехів : навчальний посібник / за ред. В. Ф. Хорунова. Київ : Кондор, 2020.
- 18 Волощенко В. І. *Теорія і технологія ливарних процесів*. Київ : НТУУ «КПІ», 2019.
- 19 Болдін А. М., Давидов М. О. *Ливарні формувальні матеріали*. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.
- 20 Лютий Р. В. *Формувальні матеріали та суміші*. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020.
- 21 Федоров Г. Д. Технологія виготовлення виливків у піщаних формах.
- 22 Назаренко І. І. Технологія ливарного виробництва.
- 23 Хорунов В. Ф. Ливарне виробництво чорних і кольорових металів.
24. Могильов В.К., О. І Лев. Довідник ливарника. Машинобудування 1988 – 268 с
25. Н.Д. Титов., Ю.А. Степанов. Технологія ливарного виробництва - М.: Машинобудування, 1978. - 432 с

Д О Д А Т К И