

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Механіко-технологічний факультет

Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва

«Допущено до захисту»

Зав. кафедрою МЛВ

к.т.н. доцент

_____Олександр КУЗИК

“ ____ ” _____ 2025 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем

вищої освіти

на тему

**«Розробка технологічного процесу виготовлення
випливання “Маточина” з високоміцного чавуну у
піщано-глинянисту форму»**

**«Development of a technological process for manufacturing a casting
"Hub" from high-strength cast iron in a sand-clay mold»**

Виконав здобувач вищої освіти:

IV курсу, групи ПМ-22мб-1

«Комп’ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк»

спеціальності 131 «Прикладна механіка»

_____ Гусейнов І.А.

Керівник роботи:

к.т.н. доцент _____ Олександр КУЗИК

Рецензент: _____

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
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

Завідувача кафедри _____

к.т.н. доцент, Олександр КУЗИК

“ _____ ” _____ 2025 року

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

Гусейнов Ільгар Анарович

1. Тема роботи: "Розробка технологічного процесу виготовлення виливка "Маточина" з високоміцного чавуну у піщано-глинянисту форму"

2. Керівник роботи Кузик Олександр Володимирович, кандидат технічних наук, доцент

Затверджені наказом вищого навчального закладу від "2" січня 2025 року № 9-02

3. Строк подання роботи до захисту "16" червня 2025 року

4. Метою даної роботи є розробка технологічного процесу виготовлення виливка "Маточина" з високоміцного чавуну марки ВЧ 450-10 у піщано-глиняну форму з урахуванням вибору матеріалів і живильної системи, а також забезпечення високої якості готової продукції.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі завдання:

- провести аналіз особливостей лиття високоміцного чавуну;
- обґрунтувати вибір конструкції виливка та методів лиття;
- розробити конструкцію модельної оснастки та ливарної форми;
- провести розрахунок припусків, литникової системи та параметрів процесу;
- визначити заходи з контролю якості та запобігання дефектам;
- розробити заходи з охорони праці при литті.

5. Перелік графічного матеріалу: 1) креслення деталі з нанесенням модельно-ливарних вказівок; 2) креслення ливарної форми, оснастки

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Огрядовий	доц., Олександр КУЗИК		
Технологічний	доц., Олександр КУЗИК		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури по темі роботи	10.04.2025	
2	Розрахунки по технологічній частині	30.04.2025	
3	Креслення по технологічній частині	20.05.2025	
4	Оформлення пояснювальної записки та презентації роботи	13.06.2025	

Дата видачі завдання

«4» 02 2025 року

Керівник роботи

_____ Олександр КУЗИК

Завдання прийнято до виконання

«_____» _____ 2025 року

_____ Ільгар ГУСЕЙНОВ

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційну роботу за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти виконав здобувач вищої освіти Гусейнов Ільгар Анарович студент IV курсу, групи ПМ-22мб-1, ОПП «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк» спеціальності 131 Прикладна механіка на тему "Розробка технологічного процесу виготовлення виливка «Маточина» з високоміцного чавуну у піщано-глинянисту форму", ЦНТУ, 2025. 60 с.

У роботі розглянуто технологічний процес виготовлення виливка «Маточина» з високоміцного чавуну марки ВЧ 450-10 методом лиття у піщано-глиняну форму. Особливу увагу приділено вибору матеріалів, конструкції ливарної форми та живильної системи, а також оптимізації параметрів заливки для забезпечення високої якості готової продукції та мінімізації дефектів.

Проаналізовано фізико-хімічні та механічні властивості високоміцного чавуну ВЧ 450-10, що обумовлюють його застосування у відповідальних деталях машинобудування. Розглянуто особливості формувальної суміші, що забезпечує достатню газопроникність, міцність та термостійкість форми.

Розроблено конструкцію ливарної форми з урахуванням припусків на усадку, радіусів галтелей та формувальних ухилів, а також визначено оптимальний тип і розміри живильної системи для стабільного заповнення форми металом. Запропоновано методи контролю якості виливків та способи запобігання типових дефектів, таких як усадочні раковини, пористість і тріщини.

Практична значущість роботи полягає у підвищенні ефективності литва відповідальних деталей із високоміцного чавуну, що сприяє покращенню експлуатаційних характеристик виробів і зниженню матеріальних витрат. Запропонований технологічний процес може бути впроваджений на ливарних підприємствах для виготовлення якісних виливків із чавуну марки ВЧ 450-10.

ABSTRACT

The qualification thesis for the first (bachelor's) level of higher education was completed by the student of higher education Ilgar Anarovych Huseynov, a 4th-year student of group PM-22mb-1, Educational and Professional Program "Computer Engineering of Technologies, Robotics and 3D Printing" of specialty 131 Applied Mechanics on the topic " Development of a technological process for manufacturing a casting "Hub" from high-strength cast iron in a sand-clay mold ", Central Ukrainian National Technical University, 2025. 63 pages.

The thesis presents the technological process for manufacturing the casting "Hub" made of high-strength cast iron grade VG 450-10 using the sand-clay molding method. Special attention is given to the selection of materials, design of the casting mold and gating system, as well as optimization of pouring parameters to ensure high-quality castings and minimize defects.

The physical-chemical and mechanical properties of high-strength cast iron VG 450-10 are analyzed, which determine its application in critical machine parts. The features of the molding mixture providing sufficient gas permeability, strength, and thermal stability of the mold are considered.

The mold design is developed considering allowances for shrinkage, fillet radii, and draft angles. The optimal type and dimensions of the gating system are defined to ensure stable mold filling with metal. Methods for quality control and prevention of common defects such as shrinkage cavities, porosity, and cracks are proposed.

The practical significance of the work lies in improving the efficiency of casting critical parts from high-strength cast iron, enhancing operational characteristics of products, and reducing material costs. The proposed technological process can be implemented at foundries for producing high-quality castings of VG 450-10 grade cast iron.

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	8
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	10
1.1 Класифікація та призначення деталей типу «Маточина».....	10
1.2 Властивості та особливості високоміцного чавуну.....	11
1.3 Технологічні особливості виготовлення виливків з високоміцного чавуну.....	13
1.4 Методи формування та ливарні форми.....	15
1.5 Аналіз типових дефектів виливків і способи їх усунення.....	17
2. ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА.....	20
2.1 Вибір конструкції виливка «Маточина».....	20
2.2 Вимоги до якості і точності виливка.....	23
2.3 Вибір матеріалу та його обґрунтування.....	24
2.4 Вибір способу лиття та типу форми.....	26
2.5 Обґрунтування типу формувальної суміші.....	28
2.6 Розробка технологічного процесу виготовлення виливка.....	29
2.6.1. Розрахунок припусків на механічну обробку.....	29
2.6.2. Вибір припусків на усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків.....	33
2.7 Конструювання ливарної форми: модельна оснастка.....	34
2.7.1. Вибір і розрахунок живильної та ливникової системи.....	37
2.7.2. Вибір місця підводу металу та типу ливникової системи.....	39
2.8 Плавка та модифікування чавуну.....	40
2.8.1 Визначення оптимальної швидкості заливки.....	42
2.8.2. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.....	43
2.9 Вибивання, очищення та термічна обробка виливка.....	47
2.10 Контроль якості виливка.....	48
2.10.1. Методи контролю якості виливка.....	48

2.10.2. Аналіз і запобігання можливим дефектам.....	50
3. Охорона праці та навколишнього середовища.....	53
3.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів.....	53
3.2 Вимоги до безпеки при литті чавуну.....	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	57
Список використаних джерел.....	58
Додатки.....	60

ВСТУП

У сучасному машинобудуванні та металургії високоміцні чавуни відіграють ключову роль завдяки своїм унікальним механічним властивостям, високій зносостійкості та добрій технологічності лиття. Вироби з високоміцного чавуну марки ВЧ 450-10 широко застосовуються у відповідальних деталях, які працюють у складних експлуатаційних умовах, таких як автомобільні маточини, корпуси насосів, валки і шестерні. Забезпечення високої якості цих деталей визначає надійність і довговічність машин, а отже, і конкурентоспроможність продукції.

Одним з важливих етапів виробництва є розробка технологічного процесу лиття, що включає вибір способу лиття, формувальної суміші, конструкції форми та живильної системи, оптимізацію параметрів заливки, а також методів контролю якості. Особлива увага приділяється зниженню дефектів лиття, таких як пористість, тріщини, несповна заповнення форми, що часто виникають через неправильний підбір технологічних параметрів або недостатній контроль процесу.

Для виготовлення виливка “Маточина” з високоміцного чавуну ВЧ 450-10 ефективним є застосування піщано-глиняних форм, що поєднують доступність матеріалів, економічність та належну точність геометрії виробу. Проте, для досягнення оптимальної якості виливка необхідно ретельно підбирати склад формувальної суміші, параметри сушіння, а також конструктивні особливості форми і живильної системи.

Удосконалення технології лиття відповідальних деталей, що дозволяє підвищити продуктивність, знизити матеріаловитрати, а також покращити експлуатаційні характеристики готових виробів є безумовно актуальним. Тому, розробка і впровадження технологічного процесу, адаптованого під специфіку високоміцного чавуну ВЧ 450-10 та особливості форми “Маточина”, є важливим кроком у підвищенні якості литва та конкурентоспроможності підприємства.

Метою даної роботи є розробка технологічного процесу виготовлення виливка “Маточина” з високоміцного чавуну марки ВЧ 450-10 у піщано-глиняну

форму з урахуванням вибору матеріалів і живильної системи, а також забезпечення високої якості готової продукції.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі завдання:

- провести аналіз особливостей лиття високоміцного чавуну;
- обґрунтувати вибір конструкції виливка та методів лиття;
- розробити конструкцію модельної оснастки та ливарної форми;
- провести розрахунок припусків, литникової системи та параметрів

процесу;

- визначити заходи з контролю якості та запобігання дефектам;
- розробити заходи з охорони праці при литті.

Об'єктом дослідження є процес виготовлення виливка “Маточина” з високоміцного чавуну марки ВЧ 450-10.

Предметом дослідження – технологічний процес лиття у піщано-глиняні форми з урахуванням особливостей матеріалу та конструкції деталі.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Класифікація та призначення деталей типу «Маточина»

Деталі типу «маточина» займають важливе місце в загальному класифікаційному ряді машинобудівних компонентів і широко застосовуються в різноманітних механізмах. Основною функцією маточини є забезпечення надійного кріплення обертових елементів, таких як шків, колеса, зубчасті колеса, муфти тощо, до вала з метою передачі крутного моменту. Її конструкція, як правило, передбачає внутрішній отвір, який може бути гладким або оснащеним елементами з'єднання (шпонки, шліци, різьблення), та зовнішню частину, яка слугує для фіксації на зовнішній деталі.

З огляду на різноманітність технічних вимог і умов експлуатації, маточини поділяють на кілька видів за конструктивними ознаками, способом встановлення, наявністю додаткових елементів жорсткості тощо. Конструктивно ці деталі можуть мати фланцеву або безфланцеву форму, наскрізний або глухий отвір, пряме чи конічне центрування (рис. 1). В окремих випадках маточини виготовляються з буртами чи ребрами для підвищення механічної міцності.



Рисунок 1 – Різновиди маточин

Залежно від свого призначення, маточини класифікують на привідні, з'єднувальні, опорні та інші. Усі ці типи відіграють роль проміжної ланки між обертовим валом і навантаженим елементом конструкції. Через це до маточин висуваються високі вимоги щодо міцності, стійкості до зносу, а також точності виготовлення. Особливо це актуально в умовах експлуатації з підвищеним навантаженням і вібраційними впливами.

Матеріали для виготовлення маточин обираються з урахуванням експлуатаційних умов, механічних навантажень, способів обробки і технологічних особливостей. Зокрема, у відповідальних вузлах машин доцільно застосовувати високоміцні чавуни з кулястим графітом, як-от ВЧ 450-10. Цей матеріал поєднує в собі високу міцність, добру оброблюваність та задовільні ливарні властивості, що робить його оптимальним для литих заготовок типу «маточина».

У процесі розробки технології виготовлення таких виливків важливе значення має конструктивна простота форми маточини, що забезпечує добру ливарну технологічність. Масивність, відсутність різких перепадів товщини та складної внутрішньої геометрії сприяє рівномірному заливанню, якісному формуванню структури й зменшенню ймовірності виникнення внутрішніх дефектів.

Таким чином, маточина як деталь відіграє критично важливу роль у функціонуванні багатьох механізмів, забезпечуючи надійне з'єднання та ефективну передачу обертового руху. Її конструктивні особливості та вимоги до якості виготовлення вимагають ретельного підходу при розробці технологічного процесу лиття, зокрема з урахуванням вибраного матеріалу і способу формування.

1.2 Властивості та особливості високоміцного чавуну

Високоміцний чавун з кулястим графітом, зокрема марка ВЧ 450-10, є одним із найбільш перспективних матеріалів для виготовлення відповідальних ливарних деталей у сучасному машинобудуванні. Його застосування обумовлене унікальним поєднанням механічних властивостей, які за деякими показниками наближаються

до сталі, з одночасним збереженням характерних переваг традиційного чавуну, таких як добра ливарна здатність, стійкість до зношування та зменшена собівартість виробництва.

Марка ВЧ 450-10 згідно з ДСТУ EN 1563:2016 (аналог ISO 1083) характеризується мінімальним межовим значенням тимчасового опору розриву на рівні 450 МПа і відносним подовженням не менше 10%. Така комбінація міцності та пластичності забезпечується завдяки спеціальній структурі металу, яка формується в процесі сфероїдизації графіту. У цьому сплаві графіт знаходиться у формі сферичних включень, що мінімізує концентрацію напружень навколо них та сприяє підвищенню опору крихкому руйнуванню. Саме наявність кулястого графіту є головною відмінністю високоміцного чавуну від сірого, в якому графіт має пластинчасту форму і виступає в ролі концентраторів напружень.

Хімічний склад ВЧ 450-10 є регламентованим, однак може варіюватися в допустимих межах залежно від технології виробництва. Основу складають залізо, вуглець (близько 3,4–3,8%), кремній (1,8–2,8%), марганець (до 0,6%) та залишкова кількість сірки і фосфору. Для досягнення необхідної структури проводиться модифікування розплаву магнієм або магнієвмісними феросплавами (наприклад, феросилікомагнієм), що сприяє сфероїдизації графіту. Також можливе використання додаткових елементів – нікелю, міді, хрому – з метою покращення механічних чи корозійних властивостей.

Технологічною перевагою ВЧ 450-10 є його добра ливарна здатність, що дозволяє отримувати виливки складної форми з мінімальними дефектами. Матеріал добре заповнює форму, має невелику схильність до утворення усадкових раковин і тріщин, що важливо при литті у піщано-глинясті форми. Окрім того, його структура забезпечує достатню жорсткість і демпфуючі властивості, що є перевагою для деталей, що працюють в умовах вібрації або циклічного навантаження.

Механічні властивості залежать не лише від складу, але й від режиму охолодження, розмірів перерізу та термічної обробки. У нормалізованому стані ВЧ 450-10 демонструє стабільну якість і витримує механічну обробку без утворення

тріщин або сколів. Це забезпечує йому широку сферу застосування, зокрема для виготовлення вузлів, що піддаються ударним або змінним навантаженням: маточин, важелів, шестерень, корпусів насосів, гідравлічних елементів та ін.

Таким чином, високоміцний чавун марки ВЧ 450-10 є оптимальним вибором у випадках, коли потрібна висока міцність при збереженні властивостей чавуну як ливарного матеріалу. Його фізико-механічні характеристики, технологічна ефективність та економічність роблять цей сплав конкурентоспроможним у багатьох галузях машинобудування, зокрема у виготовленні деталей типу «маточина», де важливо поєднати міцність, точність і технологічність у процесі лиття.

1.3 Технологічні особливості виготовлення виливків з високоміцного чавуну

Виготовлення виливків з високоміцного чавуну має низку специфічних технологічних особливостей, що пов'язані з необхідністю забезпечення стабільної структури з кулястим графітом та високими механічними характеристиками. На відміну від сірого чавуну, в якому графіт має пластинчасту форму, у високоміцному чавуні графіт сфероїдизується, що суттєво покращує механічні властивості матеріалу. Однак досягнення подібної структури потребує ретельного дотримання технологічного регламенту на кожному етапі виробництва.

Однією з основних умов отримання високоміцного чавуну є проведення модифікування розплаву магнієм або сполуками, що містять магній, такими як феросилікомагній. Цей процес, що відомий як сфероїдизація, проводиться безпосередньо перед заливанням у форму. Для запобігання окисненню магнію обробку здійснюють у герметизованих ковшах або спеціальних вогнетривких камерах. Крім магнієвої обробки, часто застосовується графітизуюче модифікування — введення інокулянтів, зазвичай феросиліцію, для зменшення переохолодження і формування рівномірної структури з оптимальним розподілом графіту.

Важливою особливістю лиття високоміцного чавуну є вибір оптимальної температури заливання, яка зазвичай становить 1370–1450 °С. Температура повинна бути достатньою для забезпечення повного заповнення форми, але не надто високою, щоб не викликати розпаду кулястого графіту або надмірного вигорання магнію. Також критично важливими є швидкість заливання, рівномірне охолодження та мінімізація турбулентності в потоці металу, що досягається завдяки правильно спроектованій ливниковій системі.

Формувальні матеріали для лиття ВЧ чавуну повинні витримувати високі температурні навантаження, забезпечуючи при цьому добру газопроникність і точність форми. Найчастіше використовують піщано-глинясті суміші на основі кварцового піску та бентонітової глини, які дозволяють формувати деталі середньої складності з достатньо гладкою поверхнею. Для виготовлення стрижнів застосовують суміші, які забезпечують високу міцність, стабільність форми й хорошу вибиваність після заливання.

Особливої уваги потребує охолодження відливок. У випадку високоміцного чавуну контроль охолодження має важливе значення для запобігання виникненню структурних дефектів, таких як біла зона, графітизаційна кірка, зональна неоднорідність. У разі необхідності застосовують контрольоване охолодження або ізотермічний відпал, що дозволяє досягти заданих механічних властивостей.

Не менш важливою особливістю є усадочні процеси. Усадка високоміцного чавуну становить приблизно 1%, тому передбачають спеціальне конструкторське компенсаційне збільшення розмірів форми. Окрім того, у разі наявності масивних ділянок, важливо правильно розмістити підживлювачі для компенсації усадки при кристалізації.

Механічна обробка високоміцного чавуну дещо складніша порівняно з сірим чавуном через його вищу твердість і міцність. Проте сучасні методи обробки, зокрема застосування твердосплавного інструменту та оптимальних режимів різання, забезпечують належну якість оброблених поверхонь.

Таким чином, виготовлення виливків з високоміцного чавуну — це складний багатостадійний процес, що вимагає точного контролю на всіх етапах: від

підготовки шихти та модифікування розплаву до проектування ливарної форми і контролю охолодження. Лише за умови суворого дотримання технологічного режиму можна отримати якісні виливки з необхідними експлуатаційними характеристиками, що відповідають вимогам сучасного машинобудування.

1.4 Методи формування та ливарні форми

У процесі виготовлення виливків одним із ключових етапів є формування, що забезпечує надання майбутньому виробу необхідної геометрії, а також створення умов для якісного заповнення форми розплавленим металом. Методи формування безпосередньо впливають на точність розмірів, шорсткість поверхні, механічну цілісність і технологічність вилівка. Вибір способу формування залежить від матеріалу вилівка, складності його конфігурації, маси, тиражності виробництва та обладнання, що використовується на підприємстві.

У литті з високоміцного чавуну найпоширенішим способом є формування в піщано-глинясті форми (рис. 2), які виготовляються із кварцового піску з добавками глини (зазвичай бентонітової) та вологи.

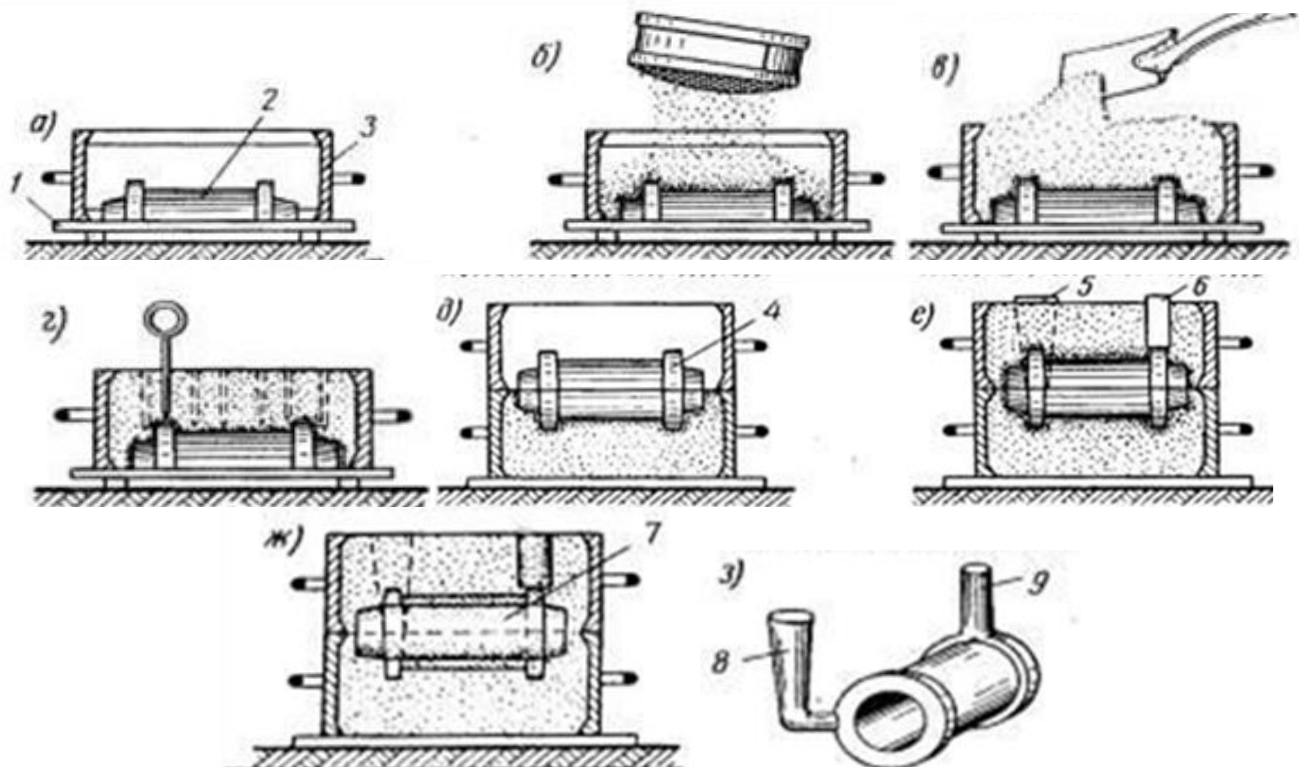


Рисунок 2 – Формування в піщано-глинясті форми

Така формувальна суміш забезпечує необхідну газопроникність, пластичність, міцність у сирому та сухому стані, а також забезпечує легке вибивання після заливки. Піщано-глинястий процес є універсальним і придатним для виготовлення як поодиноких, так і серійних виливків із середньою та складною геометрією. Виливки з високоміцного чавуну формують переважно за одноразовими формами, які після вилучення виробу знищуються. Це дозволяє виготовляти деталі складної конфігурації без обмежень щодо конструктивної свободи. Стрижні для формування внутрішніх порожнин виготовляються зі спеціальних стрижневих сумішей, які характеризуються вищою термостійкістю, стійкістю до газоутворення і забезпечують точність внутрішніх поверхонь виливка.

При виготовленні форм використовують ручне або машинне формування. Ручне формування застосовується при виготовленні поодиноких або крупногабаритних виливків. Воно забезпечує високу гнучкість процесу, хоча потребує значного часу та кваліфікації працівника. Машинне або механізоване формування застосовується у серійному або масовому виробництві. Воно забезпечує повторюваність форми, високу продуктивність і стабільну якість. Для цього використовують формувальні машини, які здійснюють ущільнення формової суміші за допомогою вібропритиску, струсопритиску або повітряно-імпульсного методу.

Форми складаються з верхньої та нижньої півформ, у яких закладаються моделі майбутнього виробу. Після ущільнення суміші та видалення модельної оснастки у формі залишається відбиток конфігурації деталі. Далі встановлюються стрижні (за потреби), монтується ливникова система, і форма готується до заливання. Ливникова система повинна бути спроектована так, щоб забезпечити рівномірне та безтурбулентне заповнення форми, запобігти виникненню дефектів (газових включень, раковин, непроварів) та забезпечити живлення усадкових порожнин у процесі кристалізації металу.

Для забезпечення належної якості поверхні виливка внутрішня частина форми може покриватися антипригарним покриттям. Воно покращує якість

поверхні, зменшує злипання металу із формувальною сумішшю та сприяє легшому вибиванню готового виробу. У серійному виробництві також застосовують оболонкові або холоднотвердіючі формувальні суміші, які забезпечують високу точність і мінімальні припуски на обробку.

Таким чином, при виготовленні виливків з високоміцного чавуну оптимальним і найпоширенішим методом є лиття в піщано-глинясті форми. Цей метод забезпечує поєднання технологічної гнучкості, доступності, точності та задовільної якості, що дозволяє ефективно реалізовувати складні конструктивні рішення при виготовленні деталей типу «маточина» або інших відповідальних вузлів машинобудівної техніки.

1.5 Аналіз типових дефектів виливків і способи їх усунення

У процесі лиття виливків із високоміцного чавуну можуть виникати різноманітні дефекти, що значно впливають на якість готової продукції, її механічні властивості, зовнішній вигляд та експлуатаційну надійність. Дефекти можуть мати як внутрішній, так і зовнішній характер, і виникають на різних етапах технологічного процесу — від підготовки шихти до заливання металу та охолодження. Їх своєчасне виявлення, аналіз причин виникнення та застосування превентивних заходів є запорукою виробництва якісної продукції.



3. Дефекти не суцільності і тілі виливки



4. Дефекти включень



5. Дефекти не відповідності по структурі



Одним із найпоширеніших дефектів є газові раковини. Вони з'являються внаслідок утворення і накопичення газів у рідкому металі, які не встигають вийти з розплаву або з форми до моменту затвердіння. Причинами цього дефекту можуть бути волога у формувальних сумішах, недостатня газопроникність форм або стрижнів, забрудненість шихти органічними включеннями або перегрів металу. Для усунення газових раковин необхідно забезпечити якісне просушування форм і стрижнів, підвищити газопроникність формувальної суміші, контролювати температуру заливання та дотримуватись чистоти шихтових матеріалів.

Ще одним поширеним дефектом є усадкові раковини, що виникають через зменшення об'єму металу під час кристалізації. Якщо розплаву не вистачає для компенсації об'єму, що зменшується, в центральних зонах виливка утворюються порожнини. Цей дефект часто спостерігається в масивних частинах виробу або при неправильному розміщенні підживлювачів. Для боротьби з усадковими раковинами необхідно грамотно проектувати ливниково-підживлювальну систему, застосовувати підживлювачі з хорошими теплоізоляційними або екзотермічними властивостями, а також забезпечувати спрямовану кристалізацію виливка.

Іншим серйозним дефектом є тріщини, які поділяються на гарячі та холодні. Гарячі тріщини виникають під час затвердіння через надмірні внутрішні напруження при нерівномірному охолодженні. Їх причиною може бути надто висока температура заливання, складна конфігурація виливка, мала пластичність металу на межі твердіння. Холодні тріщини, навпаки, утворюються вже після повного охолодження, переважно через залишкові напруження або неправильне вилучення виливка з форми. Для їх запобігання необхідно забезпечити рівномірне

охолодження, уникати гострих кутів у конструкції, оптимізувати товщину стінок і, за необхідності, застосовувати термічну обробку для зняття внутрішніх напружень.

Металеві включення є дефектом, що знижує однорідність структури виливка та може стати джерелом локального руйнування при навантаженні. Вони можуть виникати через використання забрудненої шихти, недостатнє очищення плавильного обладнання, несприятливу турбулентність потоку металу при заливанні. Усунення цього дефекту досягається шляхом ретельного очищення шихтових матеріалів, використання шлаковловлювачів у ливниковій системі, зменшення висоти заливання та застосування спокійного режиму подачі розплаву у форму.

Також варто відзначити дефекти типу недоливу або напливів. Недолив виникає внаслідок недостатньої кількості металу, передчасного затвердіння або закупорювання ливникових каналів. Напливи можуть з'явитися при занадто рідкому розплаві, надмірному тиску або недостатній міцності форм. Їх усунення передбачає оптимізацію температури та швидкості заливання, перевірку герметичності форми, а також забезпечення достатньої текучості металу.

Окремо слід згадати про структурні дефекти, що проявляються у вигляді білих зон, порушень графітної структури або зональної неоднорідності. Такі дефекти переважно пов'язані з неправильним режимом охолодження, недостатньою або надмірною сфероїдизацією, а також з поганим інокулюванням. Їх запобігання досягається точним контролем складу сплаву, параметрів модифікування та режимів охолодження.

Таким чином, ефективна боротьба з дефектами лиття передбачає не лише їх своєчасне виявлення та усунення, а й глибоке розуміння причин їх виникнення. Комплексний підхід до контролю всіх етапів технологічного процесу — від підготовки форм до термічного режиму кристалізації — дозволяє мінімізувати відсоток браку та забезпечити виготовлення високоякісних виливків з високоміцного чавуну, зокрема деталей типу «маточина», що відіграють важливу роль у машинобудуванні.

2. ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКА

2.1 Вибір конструкції виливка «Маточина»

Для розробки технологічного процесу виготовлення обрано деталь типу «Маточина», що є важливим вузлом у багатьох машинобудівних механізмах. Вона слугує елементом з'єднання валу з обертовими деталями (шківками, колесами, фланцями тощо), тому до її конструкції висуваються підвищені вимоги щодо міцності, жорсткості та точності виконання базових поверхонь.

Згідно з кресленням (рис. 3), маточина має складну просторову форму з наскрізним ступінчастим отвором у центральній частині. Отвір є посадковим і забезпечує точне центрування деталі на валу. Передбачено ділянки з обточуванням, що будуть оброблені на токарному верстаті після лиття. Зовнішній контур деталі має форму багатокутного фланця з вираженою товщиною та системою ребер жорсткості, які розміщені радіально. Така форма забезпечує рівномірний розподіл напружень та підвищену стійкість до деформацій під час експлуатації.

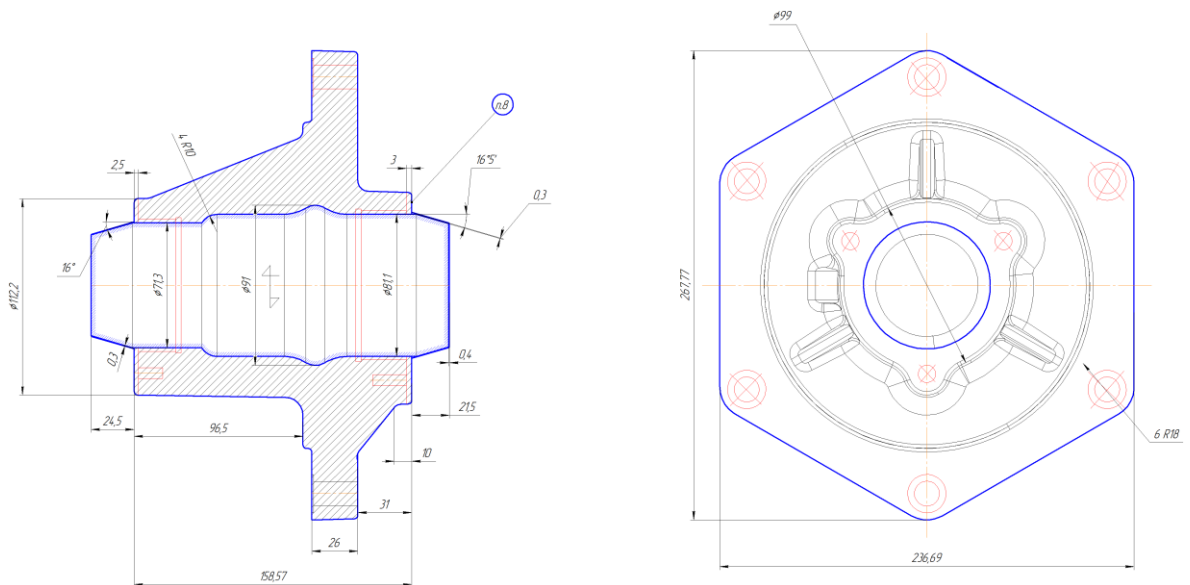


Рисунок 3 – Виливок маточина

Згідно з кресленням, маточина має наступні основні розміри (усі значення в міліметрах):

1. Загальні габарити:

Зовнішній діаметр фланця (по вписаному колу ребер): $\varnothing 207$ мм

Максимальний зовнішній діаметр шестикутного контуру фланця: орієнтовно $\varnothing 240\dots 245$ мм

Загальна висота виливка (включаючи виступи): 107 мм

Висота основного корпусу без виступу вгору: 77 мм

2. Отвори та посадкові ділянки (внутрішні):

Нижній внутрішній ступінчастий отвір: $\varnothing 47$ мм \times глибина 25 мм

Центральна частина отвору: $\varnothing 60$ мм \times глибина 27 мм

Верхня ділянка (під розточку чи підшипник): $\varnothing 77$ мм \times глибина 25 мм

Отвір наскрізний, з трьома основними діаметрами, що чергуються ступенями по висоті.

3. Зовнішні поверхні (ступінчасті):

Нижній пояс: $\varnothing 105$ мм \times висота 25,5 мм

Середній корпусний пояс: $\varnothing 127$ мм \times висота 27 мм

Верхній конусний перехід (з розширенням вгору): $\varnothing 145$ мм у нижній частині до $\varnothing 157$ мм у верхній частині. Висота конусної ділянки — 25 мм

Верхній виступ (під базування чи центр): $\varnothing 70,5$ мм \times висота 37 мм

4. Конструктивні елементи:

Ребра жорсткості: Шість ребер радіально розташовані по зовнішньому фланцю, висота кожного — приблизно 10–12 мм, ширина в основі — близько 15 мм.

Радіуси заокруглення (галтелі) на внутрішніх переходах — 3 мм. На зовнішніх кутах — 6 мм

Формувальні ухили: 1° – 3° по вертикальних стінках (згідно зі стандартними рекомендаціями для чавунного лиття).

5. Припуски на механічну обробку:

На отвори: 1,5 мм з кожного боку

На зовнішні циліндричні поверхні: 1,5–3 мм

На торцеві площини: 1 мм

На конусні поверхні: ≈ 2 мм (враховуючи можливу токарну обробку)

Конструкція маточини передбачає радіусні переходи (галтелі) у місцях з'єднання ребер з корпусом. Це знижує концентрацію напружень та запобігає утворенню тріщин як у процесі лиття, так і при механічному навантаженні в роботі. Використання формувальних ухилів (переважно 1° – 3°) на вертикальних поверхнях сприяє легкому витяганню моделі з форми без порушення структури формувальної суміші. Всі зовнішні та внутрішні контури маточини мають обтічні переходи без гострих кутів, що полегшує заповнення форми розплавом та підвищує якість лиття.

На кресленні чітко вказані припуски на механічну обробку, які коливаються від 0,3 до 3 мм залежно від ділянки. Це дозволяє забезпечити необхідні технічні параметри шорсткості, геометричної точності та відповідність допусковим посадкам у зоні отворів і базових площин. Конструкція також ураховує необхідність контрольованої усадки металу під час охолодження, тому форма деталі розроблена з урахуванням мінімізації товстостінних ділянок.

У верхній частині креслення видно литникову систему, яка включає стояк, горизонтальні та вертикальні литникові канали, а також живильники. Вони розташовані симетрично щодо виливка, що забезпечує рівномірне та безтурбулентне надходження розплаву до форми. Така конфігурація дозволяє зменшити ризик виникнення внутрішніх дефектів – пористості, усадочних раковин і включень. Живильники компенсують об'ємну усадку металу, що є критичним для високоміцного чавуну, який має високий коефіцієнт усадки.

Таким чином, конструкція маточини є оптимальною для виготовлення литтям у піщано-глиняні форми з подальшою механічною обробкою. Вона відповідає основним вимогам до технологічності, механічної міцності та точності, що дає змогу виготовити деталь серійно з високою повторюваністю розмірів і мінімальним відсотком браку. Враховані всі принципи раціонального лиття — плавні переходи, симетричне живлення, достатні ухили та припуски. Виливок такого типу може успішно виготовлятися як на ручних, так і на автоматизованих формувальних лініях.

2.2 Вимоги до якості і точності виливка

Контроль якості виливків є завершальним і надзвичайно важливим етапом у технологічному процесі виготовлення деталей із високоміцного чавуну, таких як маточини. Його основне завдання — забезпечити відповідність готових виробів вимогам технічної документації, зокрема кресленням, стандартам і нормам, що стосуються геометричних параметрів, механічних властивостей, структури металу, а також відсутності дефектів як на поверхні, так і в об'ємі виливка.

Контроль починається ще до заливання форми — на етапі перевірки формувальних матеріалів, шихти, добавок для модифікування, та готовності форм. Для формувальних і стрижневих сумішей визначаються показники газопроникності, міцності, вологості, сипучості та злипання. Шихтові матеріали мають відповідати заданому хімічному складу й бути вільними від небажаних домішок. Розплав контролюється на предмет температури, рівня окиснення, вмісту вуглецю, кремнію, магнію та інших елементів, що впливають на формування структури чавуну.

Після тверднення металу і вибивання виливків із форм, проводиться первинний зовнішній огляд, під час якого виявляють видимі дефекти — тріщини, раковини, порушення контурів, напливи, недоливи, порушення геометрії. Цей етап є найпростішим і виконується візуально або за допомогою ручного вимірювального інструменту — штангенциркулів, шаблонів, калібрів. У серійному виробництві застосовуються спеціалізовані кондуктори та автоматизовані контрольні пристрої.

Для виявлення внутрішніх дефектів — таких як усадкові порожнини, газові включення, сторонні тіла або тріщини, які не видно на поверхні, застосовуються методи неруйнівного контролю. Найбільш поширеним серед них є ультразвуковий контроль, що дозволяє оцінити структуру виливка на глибину без його руйнування. Також застосовується рентгенографія (рентгеноскопія), яка дозволяє отримати зображення внутрішньої будови виливка. У деяких випадках ефективним є

капілярний або магнітопорошковий контроль, особливо для виявлення поверхневих мікротріщин.

Окремим етапом є контроль механічних властивостей. Він проводиться шляхом відливання контрольних зразків — кулачків або свідків — разом з основним виливком. Зразки піддаються випробуванням на розтяг, твердість (наприклад, за Брінеллем), ударну в'язкість, і результати порівнюються з вимогами стандарту. Для чавуну ВЧ 450-10 типові вимоги — міцність на розтяг не менше 450 МПа, відносне подовження не менше 10%. За потреби перевіряється мікроструктура металу методом металографічного аналізу.

Контроль хімічного складу металу виконується шляхом спектрального або хімічного аналізу. Зазвичай він проводиться ще на стадії плавки, але за потреби аналізують проби з уже готових зразків для верифікації вмісту основних легуючих та домішкових елементів.

Після завершення усіх видів контролю результати заносяться в паспорт якості на виливок. У випадку виявлення браку виливок або утилізується, або повертається на переробку (переплавку), залежно від характеру й глибини дефектів. У деяких випадках допускається виконання ремонтних операцій — наприклад, зварювання або заливка спеціальними сплавами, якщо це не суперечить вимогам до виробу.

Таким чином, система контролю якості охоплює всі стадії технологічного процесу — від контролю матеріалів до перевірки готової продукції. Її головною метою є забезпечення стабільно високої якості виливків, гарантія надійної та безпечної експлуатації деталей, що особливо важливо для відповідальних елементів, таких як маточини, які працюють під динамічними навантаженнями в складі машин і механізмів.

2.3 Вибір матеріалу та його обґрунтування

Для виготовлення виливка «Маточина», що є важливим вузлом у вузлах передачі обертового моменту, критично важливим є вибір матеріалу, який

поєднує високу міцність, достатню пластичність, зносостійкість, технологічність та стабільність розмірів при експлуатації. З огляду на вимоги до механічних характеристик, умови навантаження та конструктивні особливості, як основний матеріал обрано високоміцний чавун з кулястим графітом марки ВЧ 450-10 відповідно до ДСТУ EN 1563:2016.

Високоміцний чавун (ВЧ) — це сплав на основі заліза з вуглецем і кремнієм, у якому графіт має кулясту форму, що досягається шляхом модифікування розплаву магнієм або його сполуками. Саме сфероїдальна форма графіту забезпечує унікальне поєднання міцності, пластичності та в'язкості, яке наближає ВЧ до вуглецевих сталей, водночас зберігаючи технологічні переваги чавуну.

Типовий хімічний склад ВЧ 450-10: С: 3,4–3,8 %; Si: 2,2–2,8 %; Mn: $\leq 0,5$ %; Mg: 0,03–0,06 %; S, P: $\leq 0,02$ %.

Механічні властивості згідно з нормативами:

- Межа міцності на розрив – 450 МПа
- Межа плинності – ≥ 310 МПа
- Відносне подовження – не менше 10 %
- Твердість – НВ 140–190

Переваги ВЧ 450-10 для литої маточини:

1. Висока міцність при хорошій пластичності

Завдяки кулястому графіту, чавун ВЧ 450-10 має вищу міцність і пластичність порівняно з сірим чавуном, що дозволяє витримувати ударні та циклічні навантаження без руйнування. Це особливо важливо для маточини, яка бере участь у передачі обертового моменту та часто працює в умовах змінних навантажень.

2. Висока втомна міцність та стійкість до зносу

Матеріал добре чинить опір втомі й тертю, що забезпечує довговічність при роботі з підшипниками або шпонками.

3. Технологічність

Високоміцний чавун добре піддається литтю, має гарну рідкотекучість та незначну усадку, що дає змогу отримати виливки точної форми без необхідності складної

механічної обробки. Також ВЧ 450-10 задовільно обробляється різанням, зокрема після відпалу.

4. Стабільність геометрії при термообробці

Матеріал витримує термічне старіння без суттєвих деформацій, що дозволяє використовувати термічну обробку (відпал, нормалізацію) для поліпшення структури без ризику викривлення.

5. Економічність

У порівнянні з конструкційними сталями, високоміцний чавун є дешевшим у виробництві, не вимагає складного оброблення після лиття та забезпечує оптимальне співвідношення ціна–якість для середньо- і великосерійного виробництва.

Таким чином, чавун ВЧ 450-10 є найбільш обґрунтованим вибором для виготовлення виливка типу «Маточина», оскільки поєднує високу міцність, ударну в'язкість, технологічність і економічність. Його властивості задовольняють вимоги щодо експлуатаційної надійності деталі в умовах статичних і динамічних навантажень, що робить його конкурентоспроможним матеріалом як у машинобудуванні, так і в транспортній галузі.

2.4 Вибір способу лиття та типу форми

Вибір способу лиття та типу ливарної форми відіграє ключову роль у забезпеченні якості виливка, економічності процесу та стабільності механічних властивостей отриманої деталі. Для виготовлення виливка типу «Маточина», що характеризується наявністю внутрішніх порожнин, виступів і отворів, а також працює в умовах динамічних навантажень, доцільним є застосування лиття у піщано-глинясті форми з використанням стрижнів.

Обґрунтування вибору способу лиття

Лиття у піщано-глинясті форми є традиційним і найпоширенішим методом виготовлення виливків із чавуну. До його основних переваг належать:

- універсальність — можливість виготовлення виливків складної конфігурації та будь-яких габаритів;
- низька вартість формувальних матеріалів;
- гнучкість — можливість швидкої адаптації до змін у конструкції виробу або обсягах виробництва;
- придатність для використання стрижнів і створення внутрішніх порожнин.

Оскільки деталь «Маточина» має отвори, центральне осердя та ребра жорсткості, саме лиття в піщані форми з використанням стрижнів дає змогу ефективно реалізувати її геометрію з мінімальними затратами.

Вибір типу форми

У якості ливарної форми обрано двосторонню піщано-глинясту форму, виготовлену за стержневою моделлю, з горизонтальним розніманням. Такий тип форми дозволяє:

- забезпечити точне формування зовнішнього і внутрішнього контуру виливка;
- спростити процес укладання стрижнів;
- ефективно виводити гази та уникати холодних спаїв;
- зручно розмістити ливникову систему та підживлювачі.

Для виготовлення форми використовується формувальна суміш на основі кварцового піску з глиною як зв'язувальним компонентом. Така суміш забезпечує достатню міцність, газопроникність і стійкість до термічних навантажень, характерних для лиття чавуну.

Залежно від серійності виробництва, форма може виготовлятися:

- ручним формуванням (дрібносерійне або одиничне виробництво);
- механізованим або машинним формуванням (середні партії);
- на автоматичних лініях (типу SAVELLI, DISA) — у разі великосерійного лиття.

У нашому випадку, з огляду на середню серійність виробництва виливків типу «Маточина», доцільним є механізоване формування з застосуванням

модельного оснащення (модельної плити, стрижневої скриньки та шаблонів для виготовлення стрижнів).

Отже, для лиття вилівка типу «Маточина» з високоміцного чавуну ВЧ 450-10 обґрунтовано обрано спосіб лиття у піщано-глинясту форму з горизонтальним розніманням і використанням стрижнів. Такий підхід забезпечує необхідну точність геометрії, якість поверхні, мінімізацію литих дефектів та економічну ефективність процесу виробництва.

2.5 Обґрунтування типу формувальної суміші

Формувальна суміш є основою для створення ливарної форми, яка повинна точно передавати контури вилівка, витримувати термічне та механічне навантаження під час заливання та тверднення металу, а також забезпечувати належну газопроникність і легкість вибивання після охолодження. Для виготовлення вилівка типу «Маточина» з високоміцного чавуну до формувальної суміші ставляться підвищені вимоги, оскільки вилівок має складну геометрію, отвори й масивні стінки.

Основні вимоги до формувальної суміші:

- достатня міцність у сирому і сушеному стані, щоб забезпечити стабільність геометрії форми;
- висока газопроникність, для запобігання газовим дефектам у вилівку;
- термостійкість, що дозволяє протистояти впливу розплаву температурою понад 1300 °С;
- здатність до розформування — легке вибивання без пошкодження вилівка;
- низький вміст шкідливих домішок (сірка, органіка), які можуть призвести до утворення газів або реакції з магнієм у чавуні.

Для даного виробництва доцільно застосувати піщано-глинясту формувальну суміш із кварцовим піском у якості наповнювача та бентонітовою

глиною як в'язучим. Такий тип суміші є найбільш поширеним, технологічним і економічно доцільним для серійного виробництва виливків із чавуну.

Склад формувальної суміші:

- Кварцовий пісок (94–96 %) — основний наповнювач, забезпечує міцність скелета форми;
- Бентонітова глина (6–8 %) — надає пластичність і зв'язує зерна піску;
- Вода (до 4 %) — активує глину і забезпечує пластичність суміші;
- Деревне борошно, графіт або торф'яний пил (0,3–0,5 %) — як органічна добавка для полегшення вибивання та зниження прилипань металу;
- Протиоблипальні добавки (за потреби) — для покращення поверхні виливка.

Дана суміш має високий опір термічним ударам та не реагує з компонентами високоміцного чавуну, зберігаючи стабільність при заливці. Низьку вартість та доступність матеріалів — усі компоненти легко доступні, що знижує собівартість виливка. Гнучкість у формуванні — забезпечує можливість ручного чи механізованого формування з високою точністю. Ця суміш добре сумісна зі стрижневими сумішами (на водному або холоднотвердіючому зв'язувачі), що критично важливо для формування внутрішніх порожнин «Маточини».

Таким чином, для виготовлення виливка типу «Маточина» обґрунтовано обрано піщано-глинясту формувальну суміш на основі кварцового піску та бентонітової глини. Вона повністю відповідає технічним вимогам до лиття високоміцного чавуну, забезпечує точну передачу розмірів, стійкість форми при заливці, високу якість поверхні та можливість багаторазового використання при регенерації суміші.

2.6 Розробка технологічного процесу виготовлення виливка

2.6.1. Розрахунок припусків на механічну обробку

У процесі виготовлення відливки «Маточина» важливо не лише забезпечити необхідну геометричну форму та розміри, а й передбачити відповідні припуски на

механічну обробку. Припуски надаються для компенсації технологічних відхилень, які виникають унаслідок усадки металу під час кристалізації, термічного розширення, неточностей при формуванні ливарної форми, а також на покриття шорсткості поверхні та можливих дефектів, які потрібно буде усунути при остаточній обробці.

Основна мета встановлення припусків полягає в забезпеченні можливості досягнення необхідної точності оброблених поверхонь деталі, дотримання заданих допусків, а також забезпечення потрібної якості поверхні після завершення усіх операцій механічної обробки. Якщо припуск буде замалим, існує ризик залишення ливарної шорсткості або дефектів, що може призвести до браку. Надмірно великий припуск, у свою чергу, призведе до зайвих витрат часу на обробку, збільшення об'єму стружки, перевантаження інструменту й підвищення собівартості деталі.

Для високоміцного чавуну, з якого виготовляється виливок, стандартні значення припусків регламентуються згідно з ДСТУ ISO 8062 (або ГОСТ 26645–85 у старій системі). На практиці ж ці значення уточнюються з урахуванням конкретних умов: методу лиття, розмірів деталі, складності її форми, технічних вимог до точності, типу механічної обробки та характеристик застосовуваного інструменту.

Згідно з кресленням, основні оброблювані поверхні включають: внутрішній циліндричний отвір $\varnothing 70$, зовнішній посадковий діаметр $\varnothing 122$, торцеві поверхні, а також фаски й отвори під кріплення. На кресленні вже зазначені орієнтовні значення припусків: 2 мм на діаметральних поверхнях (наприклад, $\varnothing 70 +2$ мм), 3 мм на зовнішньому діаметрі, 1,5 мм на торцях. Ці значення відповідають рекомендованим нормативам згідно з ДСТУ ISO 8062, а також враховують тип форми (піщано-глиняна) та чавун марки ВЧ 450, який має незначну усадку в межах 1,0–1,1 %.

Для внутрішнього отвору $\varnothing 70$ припуск у +2 мм дозволяє забезпечити чистову обробку зі збереженням концентричності та необхідного допуску на посадку під підшипник або вал. Зовнішній діаметр $\varnothing 122$, на який припуск становить 3 мм, є важливою базовою поверхнею, що забезпечує монтаж і

центрування деталі, тому потребує особливої точності після обробки. Торцеві площини з припуском 1,5 мм дозволяють зняти ливарну кірку, шорсткість і забезпечити перпендикулярність поверхонь.

Також на кресленні передбачено технологічне доповнення у вигляді припуску по радіусах отворів, фасках і ребрах жорсткості. Ці припуски не лише сприяють досягненню заданих розмірів, але й дозволяють усунути можливі термічні або усадочні напруження, які могли виникнути під час охолодження виливка. Так, на ребрах та виступах забезпечується підвищена товщина, що дозволяє уникнути дефектів типу гарячих тріщин або газових порожнин, які часто з'являються у вузьких зонах.

Таблиця 1 – Припуски на механічну обробку

№ п/п	Поверхня	Номинальний розмір, мм	Вид обробки	Припуск, мм	Примітка
1	Внутрішній отвір Ø70	70	Точіння, розточка	+2	Для досягнення посадкової точності та шорсткості
2	Зовнішній діаметр Ø122	122	Точіння	+3	Поверхня центрування, відповідальна за з'єднання
3	Торцева поверхня з боку фланця	—	Фрезерування	+1.5	Для забезпечення перпендикулярності та площинності
4	Отвори під болти Ø16	16	Свердління	Без припуску	Отвори не відливаються, виконуються після лиття
5	Посадочне гніздо Ø40	40	Точіння	+1.5	Під шпонку або інше кріплення
6	Базова площа	—	Фрезерування	+1.5	Важливо забезпечити точність для настановки
7	Ребра жорсткості	—	Обробка не проводиться	—	Формуються ливарно, пр

З урахуванням габаритних розмірів деталі (максимальна висота 87 мм, ширина до 236 мм) та її призначення, застосування стандартних припусків є достатнім для забезпечення якісної механічної обробки. До того ж, відповідно до

креслення, на виливку передбачено спеціальні обробні бази, що спрощує установку деталі на верстатах і підвищує точність обробки. таблиця припусків на механічну обробку основних поверхонь виливка «Маточина» з урахуванням креслення та вимог до точності, стандартів ДСТУ ISO 8062.

Формули для розрахунку припуску:

Для обробки циліндричних поверхонь припуск можна орієнтовно визначити за формулою:

$$Z=Z_0+\Delta_{\text{лиття}}+\Delta_{\text{усадка}}$$

де: Z_0 – основний припуск на обробку згідно стандарту (2–3 мм для діаметрів до 250 мм), $\Delta_{\text{лиття}}$ – відхилення, пов'язані з неточністю лиття (0,3–0,5 мм), $\Delta_{\text{усадка}}$ – усадкове збільшення (1,0–1,1 % від номінального розміру для ВЧ 450).

Наприклад, для $\varnothing 70$:

$$Z=2+0.3+(70\times 0.011)=2+0.3+0.77\approx 3.1 \text{ мм (округлено до 2 мм з кожного боку)}$$

Таким чином, вибрані припуски є достатніми для забезпечення точності 12–13 квалітету, відповідно до умов експлуатації деталі.

Підсумовуючи, обґрунтоване визначення припусків на механічну обробку дозволяє забезпечити не лише відповідність готової деталі технічній документації, а й оптимізувати витрати на обробку, зменшити відсоток браку та підвищити загальну ефективність виробництва. У випадку виливка «Маточина», прийняті припуски є технологічно виправданими та відповідають усім вимогам до точності, шорсткості й стабільності розмірів готового виробу.

Таким чином, розрахунок припусків виконується не довільно, а на основі сукупності вимог до точності деталі, стандартів на допуски та припуски, а також рекомендацій з ливарного виробництва. Це дозволяє гарантувати, що після усіх етапів обробки виливок відповідатиме конструкторській документації, забезпечуючи необхідну функціональність деталі «Маточина» в її подальшому використанні.

2.6.2. Вибір припусків на усадку, радіусів галтелей і формувальних ухилів, розміри стержнів та стержневих знаків

Під час проектування ливарної технології виготовлення виливка «Маточина» одним із ключових етапів є визначення коректних значень припусків на усадку, радіусів галтелей, формувальних ухилів, а також параметрів стержнів та стержневих знаків. Ці показники безпосередньо впливають на точність форми, відсутність дефектів, працездатність виливка та спрощення процесу вилучення моделі з форми.

Високоміцний чавун марки ВЧ 450–10 характеризується невеликою, але стабільною ливарною усадкою, яка становить приблизно 1,0–1,1 % від номінальних розмірів. Саме це значення береться за основу для визначення ливарного припуску при виготовленні моделі. Так, наприклад, для діаметра 100 мм усадковий припуск становить 1,0–1,1 мм. На кресленні виливка видно, що для діаметральних розмірів (Ø70, Ø122, Ø40) припуск на усадку був закладений при побудові моделі та враховується разом із припусками на механічну обробку.

Для уникнення концентрації напружень у місцях переходів між площинами з різною товщиною застосовуються галтелі — плавні заокруглення внутрішніх і зовнішніх кутів. У ливарній справі вони виконують подвійну роль: покращують умови формування металу та знижують ймовірність утворення гарячих тріщин. Для виливка «Маточина» оптимальним є радіус галтелей у межах 3–5 мм у внутрішніх кутах і до 8 мм у зовнішніх. Такі значення дозволяють забезпечити рівномірне заповнення форми розплавом та зменшують напруження в зонах зміни перерізу.

Формувальні ухили є обов'язковим елементом для всіх вертикальних поверхонь виливка, що контактують із моделлю. Вони необхідні для безперешкодного вилучення моделі з ливарної форми, особливо при використанні піщано-глинястих сумішей. Зазвичай ухили встановлюються в межах від 1° до 3°, залежно від висоти вертикальної стінки. У даному випадку, враховуючи конструкцію «Маточини» та висоту бортів, формувальний ухил приймається в межах 1,5°–2°, що забезпечує якісне формування форми без пошкодження її стінок.

Окрему увагу приділяють стержневій системі. На кресленні передбачено наявність центрального наскрізного отвору ($\varnothing 70$) та посадкового заглиблення ($\varnothing 40$), які формуються за допомогою стержнів. Розміри стержнів повинні відповідати цим отворах з урахуванням припусків на усадку. Наприклад, для формування отвору $\varnothing 70$ використовується стержень $\varnothing 69$ мм, що з урахуванням усадки 1% дає необхідний розмір у готовому виливці. Для більш дрібного отвору $\varnothing 40$ відповідно використовується стержень $\varnothing 39,6$ мм. Такі розрахунки дозволяють отримати точні отвори без необхідності додаткового розточування, у разі якщо вони не підлягають обробці.

Стержневі знаки, тобто спеціальні поглиблення або виступи на моделі, призначені для центрування та фіксації стержнів у формі, також мають стандартні параметри. Їх глибина зазвичай становить 3–5 мм, а діаметр перевищує діаметр стержня на 2–3 мм для забезпечення компенсації теплового розширення і зручного встановлення. У виливці «Маточина» стержневі знаки розміщуються з обох боків отвору та забезпечують стабільне положення стержнів під час заливання.

Таким чином, правильний вибір припусків на усадку, формувальних ухилів, радіусів галтелей і параметрів стержнів забезпечує точне відтворення геометрії, мінімізацію дефектів і підвищення ефективності ливарного виробництва. Врахування цих параметрів є запорукою виготовлення якісного виливка з високоміцного чавуну.

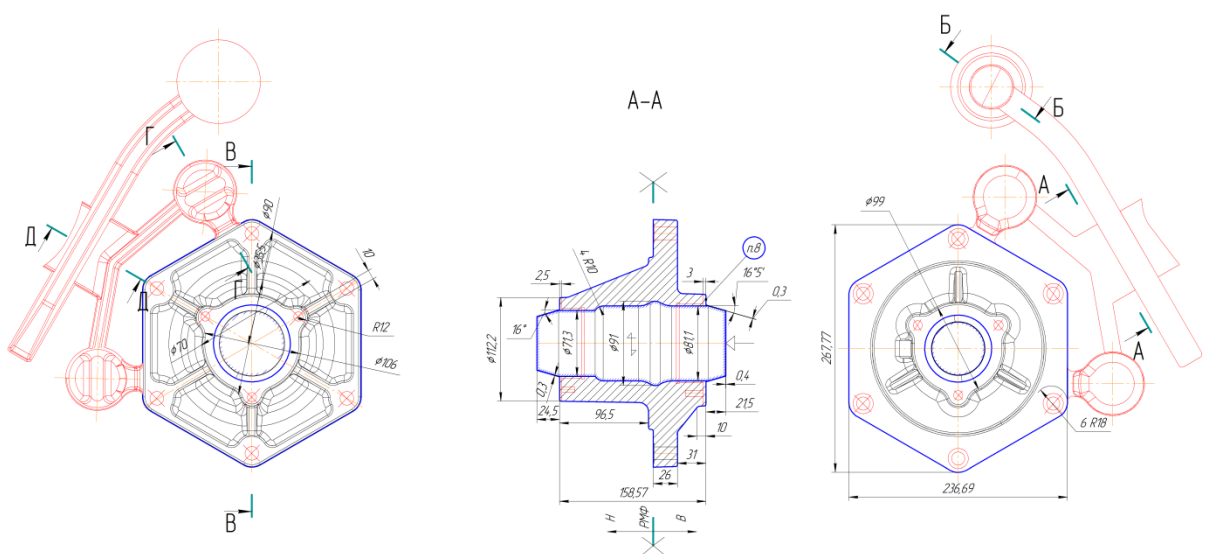
2.7 Конструювання ливарної форми: модельна оснастка

Модельна оснастка є невід'ємною складовою ливарного процесу, яка забезпечує формування точного просторового зображення майбутнього виливка в формувальному матеріалі. Вона служить для багаторазового відтворення форми в піску та забезпечує відповідність геометричних параметрів виливка вимогам креслення. Для виготовлення виливка типу «Маточина», що має складну зовнішню та внутрішню геометрію, необхідне використання комплекту модельної оснастки,

який включає модель вилівка, стрижневу скриньку, модель литникової системи та допоміжні елементи.

Основні елементи модельної оснастки:

Модель вилівка виготовляється з урахуванням припусків на механічну обробку, усадку матеріалу та формувальні ухили. Для високоміцного чавуну ВЧ 450-10 приймається середній коефіцієнт усадки 1,1 %. На моделі передбачаються формувальні ухили ($1-2^\circ$), особливо на вертикальних поверхнях. Модель виконується з дерева (бук, клен, фанера), пластику (ПВХ, поліуретан) або алюмінієвого сплаву — залежно від обсягу виробництва.



Модельна плита – це основа, на якій закріплюються модельні половини та допоміжні елементи. Плита забезпечує точне розташування верхньої та нижньої частини форми (рис. 5) під час формування. Виготовляється з чавуну або сталі, а при легких навантаженнях — із бакеліту.

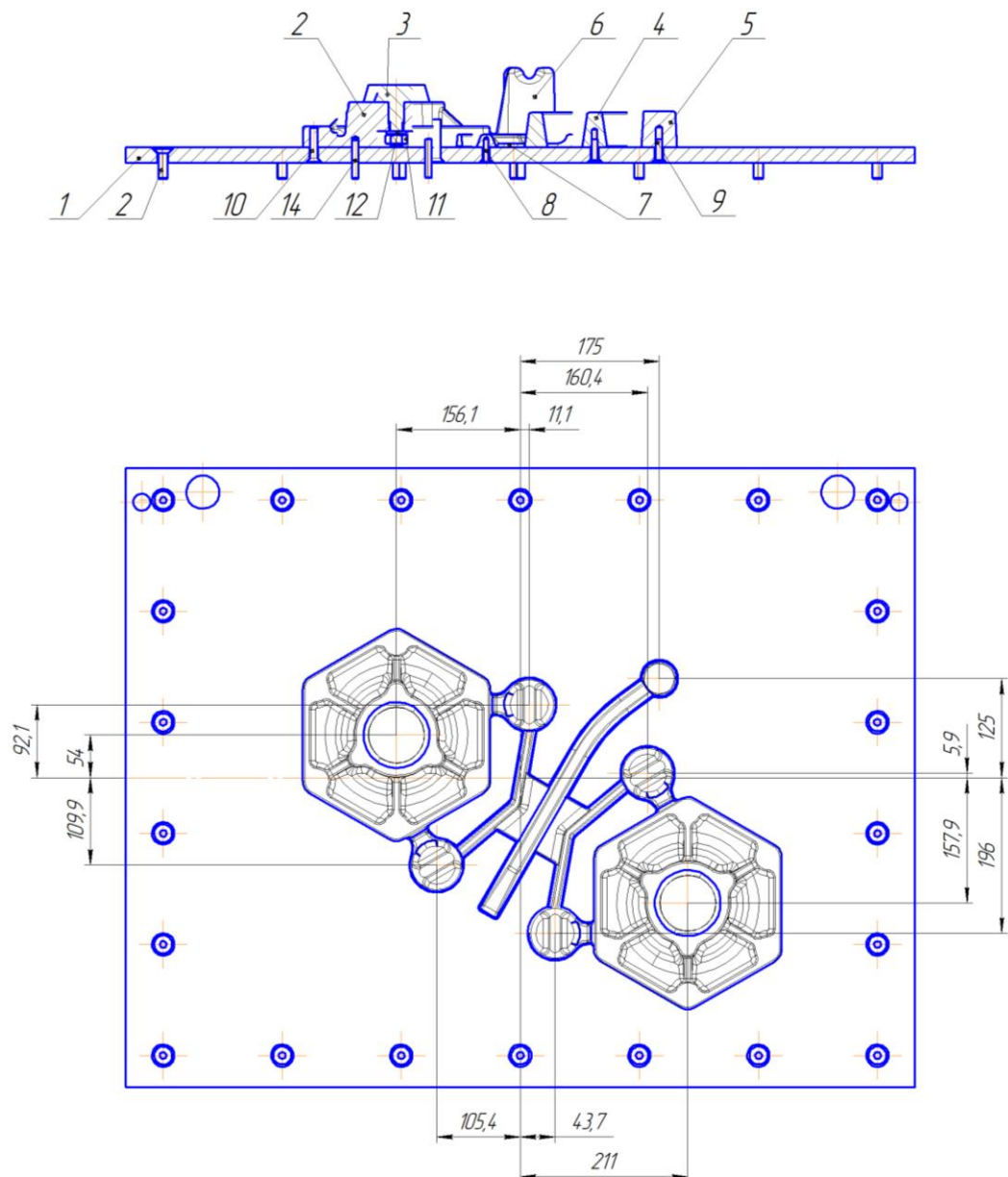
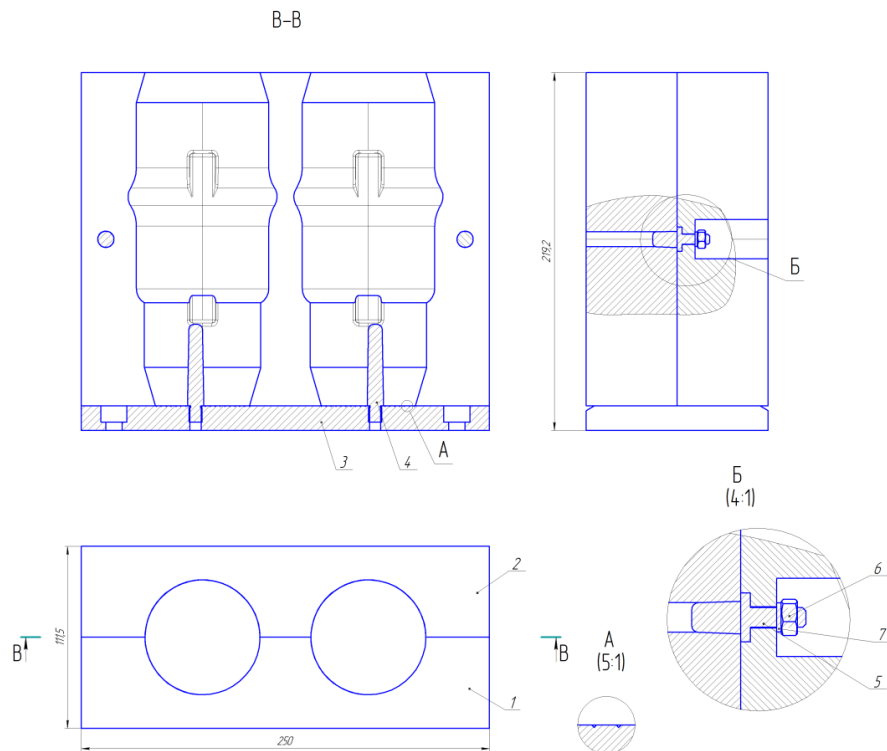


Рисунок 5 – Модельний комплект верху

Стержневий ящик призначений для виготовлення стрижнів, які формують внутрішні порожнини виливка. Оскільки маточина має центральний отвір і наскрізні канали, використовується комбінована стрижнева скринька, яка дозволяє виготовити стрижень точної конфігурації з урахуванням відповідних припусків. Стрижень виготовляється з газопроникної суміші на основі кварцового піску з органічним або неорганічним зв'язувачем. Для підвищення міцності його сушать у печі або затверджують холодним способом (СО-процес, фуранові смоли).



Модель ливникової системи включає ливникову чашу, стояк, ливникові канали та впускні отвори. Вона конструюється таким чином, щоб забезпечити спокійне, безтурбулентне заповнення форми, мінімізуючи утворення оксидів і газових дефектів. Модель каналів кріпиться до основної моделі або виготовляється окремо.

До допоміжної оснастки належать шаблони для розмітки, прилади центрування стрижнів, упори, штифти для позиціонування та викидачі. Їх застосування забезпечує точність складання форми та повторюваність процесу.

Таким чином, для виготовлення виливка типу «Маточина» розробляється модельна оснастка, яка забезпечує точність геометрії, технологічність формування та можливість багаторазового використання. Вона складається з моделі виливка, модельної плити, стрижневої скриньки та моделі литникової системи. Обрані матеріали та конструктивні рішення відповідають типу виробництва та вимогам до якості готового виливка.

2.7.1. Вибір і розрахунок живильної та ливникової системи

Проектування живильної та ливникової систем є важливим етапом у процесі лиття, оскільки саме від правильності її побудови залежить повнота заповнення

форми, якість кристалізації металу та відсутність дефектів, пов'язаних з усадкою, непроварами чи пористістю.

Для виготовлення вилівка «Маточина» з високоміцного чавуну марки ВЧ 450-10 обрано традиційну литникову систему вертикального типу з верхнім заливанням. Така система забезпечує надійне, рівномірне та безтурбулентне заповнення форми завдяки розташуванню елементів у напрямку дії сили тяжіння та використанню ефекту гідростатичного тиску.

Основною задачею живильної системи є компенсація об'ємної усадки металу, що виникає при переході розплаву в тверду фазу. Для високоміцного чавуну, який характеризується схильністю до утворення усадкових порожнин у центральній частині вилівка, необхідно передбачити наявність живильників у зонах найбільшої товщини — тобто у верхній частині маточини. Живильники виконуються відкритими (верхніми) у вигляді конічних стаканів, що контактують із вилівком через живильні шийки. Висота живильника обирається в межах 80–100 мм, діаметр — близько 60–80 мм, що забезпечує необхідний запас металу для усадкової компенсації. Для ефективної дії живильника важливо, щоб він затвердів пізніше, ніж зона, яку він живить, що досягається завдяки охолодженню формувальної суміші.

Литникова система складається з таких основних елементів: литникової чаші, стояка, горизонтального розгалуження та підведень до вилівка. Вхід у форму здійснюється через верхню частину за допомогою литникової чаші, розташованої над стояком. Стояк — це вертикальний канал, через який метал потрапляє до розгалужень, що ведуть до порожнини форми. Його діаметр обирається залежно від маси вилівка та продуктивності заливання і в середньому становить 25–35 мм. Для зменшення швидкості потоку та запобігання розбризкуванню передбачено розширення у верхній частині стояка — литникову чашу діаметром 50–60 мм.

Поперечні литники ведуть від стояка до кожної точки введення металу у форму. Їх переріз приймається прямокутним, з відношенням сторін 1:2 або 1:3, а площа перерізу підбирається згідно з умовами рівномірного заповнення форми.

Для виливка «Маточина» застосовується два або три підводи (вхідних канали), що забезпечують симетричне наповнення і виключають утворення повітряних заторів.

Гідравлічний розрахунок литникової системи виконується на основі формули Тьоріна:

$$Q = F \cdot \sqrt{2gH}$$

де: Q — витрата металу, $\text{м}^3/\text{с}$; F — площа перерізу стояка, м^2 ; g — прискорення вільного падіння ($9,81 \text{ м/с}^2$); H — висота металеві колони, м .

З урахуванням маси виливка (приблизно 6–8 кг), висоти заливання 0,25 м та необхідного часу заливки 8–12 с обираємо площу перерізу стояка у межах 6–10 см^2 , що відповідає діаметру близько 30–35 мм.

Також обов'язково передбачаються шлаковловлювачі — невеликі виступи або розширення, які затримують неметалеві включення та окислені продукти на вході в форму. Вони розміщуються безпосередньо перед підводами до виливка.

Підібрана жива та литникова система забезпечує:

- плавне й рівномірне заповнення форми без утворення турбулентності;
- компенсацію усадки в критичних перерізах;
- зменшення ймовірності утворення тріщин, раковин і порожнин;
- зручне відділення литників після застигання.

Таким чином, технологічна схема лиття з обраною живильною та литниковою системою є надійною та економічно обґрунтованою для масового виготовлення виливків типу «Маточина» із високоміцного чавуну.

2.7.2. Вибір місця підводу металу та типу ливникової системи.

Вибір місця підводу металу та типу ливникової системи є одним із найважливіших етапів у процесі лиття, що значною мірою впливає на якість готового виливка, зниження дефектності та економічність виробництва. Місце підводу металу має забезпечувати рівномірне та безперешкодне наповнення литникової форми, мінімізувати турбулентність потоку розплаву і запобігати утворенню газових включень, що часто призводять до пористості та інших дефектів.

При виборі місця підводу металу враховують конструктивні особливості вилівка, напрямок руху металу, товщину стінок, наявність ребер жорсткості та тонких ділянок, а також особливості литникової форми. Зазвичай підвід металу розташовують у місцях із найбільшою товщиною або у спеціально передбачених ділянках, де метал може рівномірно розподілитися по порожнині форми без застоїв.

Тип ливникової системи підбирають залежно від габаритів і конфігурації вилівка, виду металу, технічних вимог та особливостей обладнання. Існують такі основні типи ливникових систем: верхній (безпосередній) підвід, бічний підвід, центральний підвід та комбіновані системи. Верхній підвід часто застосовується для простих форм із рівномірною товщиною, тоді як бічний і центральний підвід краще підходять для складних деталей, де важливо контролювати напрямок лиття.

Важливою складовою ливникової системи є живильник, який забезпечує постійне підживлення металом та компенсує усадкові деформації, а також литники, які сприяють плавному входженню розплаву в порожнину форми. Розмір і форма живильника і литників визначаються з урахуванням в'язкості металу, швидкості течії, а також вимог до мінімізації дефектів.

Таким чином, правильний вибір місця підводу металу та типу ливникової системи забезпечує оптимальні умови для лиття, підвищує якість вилівка, зменшує кількість браку та сприяє ефективності виробничого процесу.

2.8 Плавка та модифікування чавуну

Процес отримання високоміцного чавуну з кулястим графітом (наприклад, марки ВЧ 450-10) передбачає кілька важливих технологічних етапів: підготовку шихтових матеріалів, плавлення, модифікування та легування розплаву з метою формування необхідної структури, що забезпечує високі механічні властивості вилівка.

Для отримання розплаву необхідного складу використовують попередньо підібрану шихту, що включає сталевий лом, повернення (циркуляційні відходи),

феросплави (для регулювання складу), а також чавун марок Л1 або Л4, який має низький вміст сірки та фосфору. Частка сталюого лому в шихті може становити 40–60 %, що сприяє зниженню вмісту кремнію та збільшенню пластичності майбутнього чавуну.

Плавлення здійснюється в індукційних тигельних печах середньої частоти (наприклад, типу ІСТ або ІЧТ), що забезпечують:

- рівномірний розігрів металу за рахунок внутрішнього індукційного нагрівання,
- високу чистоту розплаву,
- можливість точного контролю температури.

Робоча температура розплаву на завершальному етапі плавки становить 1450–1500 °С, що дозволяє ефективно проводити подальше модифікування без втрати активності компонентів.

Для формування кулястої форми графіту необхідно провести сфероїдизацію графіту — тобто додати до розплаву модифікуючі елементи, які впливають на процес кристалізації графіту. Цей процес виконується за методом «під ковпаком» або у ковші з герметичним покриттям, щоб уникнути інтенсивного окиснення та втрат магнію.

Основним модифікатором є феромагній (Fe–Mg), або магнійвмісні лігатури типу феросилікомагній (наприклад, FeSiMg5, FeSiMg7). Вони вводяться в кількості 0,8–1,2 % від маси розплаву. Під дією магнію пластинчастий графіт перетворюється на сфероїдальний, що забезпечує високу міцність і пластичність чавуну.

Для зниження оксидів і залишків шлаку також застосовуються шлакоутворювальні покриття або шлакові порошки (наприклад, флюс на основі перліту), які утворюють легкознімну шлакову кірку на поверхні металу.

У деяких випадках до складу чавуну додають легуючі елементи для поліпшення його експлуатаційних характеристик:

- Cu (0,4–1,0 %) — підвищує міцність і твердість;
- Ni (0,5–1,5 %) — покращує в'язкість, зменшує схильність до крихкості;

- Мо (0,1–0,3 %) — стабілізує структуру фериту.

Температурно-хімічний контроль

На завершальному етапі плавки проводиться хімічний аналіз і вимірювання температури перед розливанням. Температура металу при розливі становить 1350–1380 °С. Занадто висока температура сприяє повторному розпаду сфероїдального графіту, тому дотримання режиму є критичним.

Таким чином, процес плавки та модифікування чавуну для отримання високоміцної структури включає точний контроль складу шихти, раціональний режим плавлення, обов'язкову обробку магнієм і стабілізацію структури за рахунок термічної обробки. Це дозволяє виготовити надійний вилівок «Маточина» з високими показниками міцності, пластичності та довговічності.

2.8.1 Визначення оптимальної швидкості заливки.

Визначення оптимальної швидкості заливки є ключовим фактором у технологічному процесі лиття, особливо при виготовленні виливків із високоміцного чавуну марки ВЧ 450-10, як у випадку з деталлю «Маточина». Правильно підібрана швидкість заливки забезпечує рівномірне наповнення литникової форми, мінімізує утворення дефектів, таких як газова пористість, раковини, холодні шви, а також запобігає турбулентності розплаву, що може призводити до надмірного окиснення і захоплення шлакових включень.

Оптимальна швидкість заливки визначається виходячи з характеристик металу, геометрії виливка, конфігурації литникової системи та типу форми. Для високоміцного чавуну, який характеризується підвищеною в'язкістю розплаву і схильністю до утворення несправностей при різких змінах потоку, рекомендується підтримувати плавний і контрольований рух металу. Занадто висока швидкість може викликати турбулентний потік, що сприяє захопленню повітря і утворенню дефектів, натомість занадто низька швидкість призводить до нерівномірного заповнення форми і можливих холодних швів.

Розрахунок оптимальної швидкості заливки зазвичай здійснюють на основі емпіричних формул, які враховують гідравлічний напір у ливниковій системі,

перетини живильників і литників, а також час заповнення форми. У практиці застосовують методику, що базується на рівнянні Бернуллі з урахуванням коефіцієнтів втрат напору, а також рекомендації стандартів і нормативів для лиття високоміцних чавунів.

Для деталі “Маточина” важливо забезпечити таку швидкість заливки, яка дозволить металу рівномірно розподілитись по всій складній конфігурації форми, не допускаючи застоїв і холодних зон, що можуть стати джерелом тріщин або інших дефектів. Зазвичай для таких виливків швидкість заливки перебуває в межах 0,5–2 м/с залежно від розмірів та складності литникової системи.

Таким чином, визначення оптимальної швидкості заливки є необхідним для забезпечення високої якості вилівка, зменшення виробничих втрат і підвищення довговічності деталі, що особливо актуально при використанні високоміцного чавуну марки ВЧ 450-10 у відповідальних вузлах, таких як “Маточина”.

Оптимальна тривалість заливки (час заливки) визначається за формулою:

$$t = S \cdot \sqrt{G}$$

де S – коефіцієнт, що враховує товщину стінок відливка, $S = 2,2$; G – маса металу, що заливається в форму, кг;

$$G = M_{\text{відл}} \cdot n + M_{\text{підж}} \cdot n + M_{\text{шл}} + M_{\text{ст.}}$$

де $M_{\text{відл}}$ – маса вилівка; n – кількість відповідного елемента; $M_{\text{підж}}$ – маса підживлювача; $M_{\text{шл}}$ – маса шлаковловлювача; $M_{\text{ст.}}$ – маса стояка.

$$G = 6,4 \cdot 4 + 5,1 \cdot 2 + 0,63 + 1,5 = 37,21$$

$$t = 2,2 \cdot \sqrt{37,2} = 13,42 \text{сек}$$

2.8.2. Визначення площі перерізу каналів ливникової системи.

Визначення площі перерізу каналів ливникової системи — це важливий етап проектування, що забезпечує правильну швидкість потоку розплаву, рівномірне заповнення форми та уникнення дефектів у виливку. Розрахунок площі перерізу виконується з урахуванням об'єму металу, що надходить, часу заливки та типу ливникової системи.

Загальна формула для площі перерізу:

$$A = \frac{V}{v \cdot t}$$

де: A – площа поперечного перерізу каналу, м^2 , V — об'єм розплавленого металу, м^3 , v — швидкість потоку металу в каналі, м/с , t — тривалість заливки, с .

Швидкість потоку v вибирається з урахуванням типу металу і конструкції вилівка. Для високоміцного чавуну зазвичай $v=0,5 \dots 1,5 \text{ м/с}$.

Практичний підхід для вузлів ливникової системи:

1. Живильний стояк (ливникова чаша):

- Площа перерізу повинна бути найбільшою, щоб забезпечити накопичення металу.

- Часто приймається як 2–3 кратне значення площі головного каналу.

2. Головний ливниковий канал:

$$A_{\text{гол}} = \frac{V_{\text{вил}}}{v \cdot t}$$

де $V_{\text{вил}}$ — об'єм вилівка разом із надливами.

3. Бічні або допоміжні канали:

- При розгалуженні на кілька каналів, площу головного каналу ділять на кількість відгалужень:

$$A_{\text{від}} = \frac{V_{\text{гол}}}{n}$$

4. Форма перерізу:

- Найчастіше використовується прямокутна або кругла форма.

- Для прямокутного перерізу:

$$A = b \cdot h$$

- Для круглого:

$$A = \frac{\pi d^2}{4}$$

Під час проектування системи слід урахувати:

- Коефіцієнт звуження потоку (коефіцієнт витрати), що залежить від форми та шорсткості каналу. Зазвичай береться $\phi=0.6 \dots 0.8$

- Тоді ефективна площа:

$$A_{\text{эф}} = \frac{V}{\varphi \cdot v \cdot t}$$

Загальна площа живильників визначаємо за форму:

$$\sum F_{\text{жив}} = \frac{G}{\gamma \cdot \mu \cdot t \cdot \sqrt{2gH_p}},$$

де G – маса металу, що заливається, кг; γ – густина сплаву для високоміцного чавуну 7300 кг/м^3 ; μ – коефіцієнт опору ливникової системи і порожнини форми $\mu = 0,8$; g – швидкість вільного падіння $9,81 \text{ м/с}^2$; H_p – статичний напір, м.

Визначення статичного напору — це важлива частина гідравлічного розрахунку при литті, яка дозволяє визначити тиск, з яким розплавлений метал надходить у порожнину форми. Цей тиск зумовлений висотою стовпа металу в литниковій системі (як правило, у ливниковій чаші або стояку), і він безпосередньо впливає на швидкість заливки та наповнення форми:

$$H_p = H - \frac{P^2}{2C}$$

де H – висота напівформи, см; P – висота відливка від місця підводу металу у форму; C – висота відливка, см.

На рис. 3. показана схема для розрахунку статичного напору.

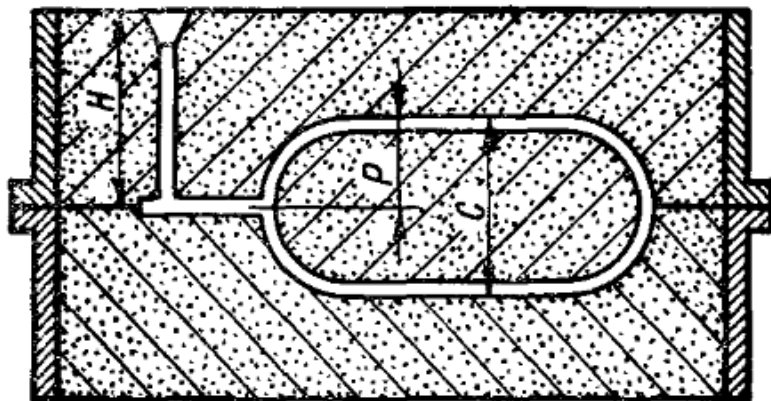


Рисунок 3 – Схема для розрахунку гідростатичного напору.

$$H_p = 0,178 - \frac{0,12^2}{2 \cdot 0,145} = 0,128 \text{ м}$$

Визначаємо площу перерізу живильника:

$$F_{жив} = \frac{37,21}{7300 \cdot 0,8 \cdot 13,42 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,128}} = 3,5 \text{ см}^2$$

Визначаємо розміри живильника прийнявши форму поперечного перерізу – трапеції.

Площа перерізу шлаковловлювача і стояка визначається зі співвідношення:

$$\sum F_{жив} : \sum F_{шл} : \sum F_{ст} = 1 : 1,3 : 1,4$$

$$\sum F_{шл} = 1,3 \cdot \sum F_{жив} = 1,3 \cdot 3,5 = 4,55 \text{ см}^2$$

$$\sum F_{ст} = 1,4 \cdot \sum F_{жив} = 1,4 \cdot 3,5 = 4,9 \text{ см}^2$$

Розрахунок геометричних розмірів шлаковловлювача:

$$a = \sqrt{\frac{F_{шл}}{6}} = \sqrt{\frac{450}{6}} = 8,5 \text{ мм}$$

Розрахунок геометричних розмірів шлаковловлювача проводимо за схемою рисунку 3.

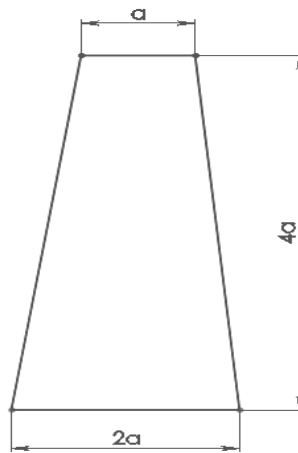


Рисунок 3 – схема для розрахунку геометричних розмірів шлаковловлювача.

Отримуємо площу шлаковловлювача $F_{шл} = 8,5 \text{ см}^2$.

Визначаємо діаметр стояка:

$$d_{ст} = \sqrt{\frac{4F_{ст}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,9}{3,14}} = 2,4 \text{ см}$$

Із технологічних міркувань приймаємо $d = 35 \text{ мм}$.

2.9 Вибивання, очищення та термічна обробка виливка

Після завершення заливання та охолодження форми розпочинається заключний етап технологічного процесу — вибивання, очищення та термічна обробка виливка. Ці операції є необхідними для забезпечення заданих механічних властивостей деталі, покращення зовнішнього вигляду, а також підготовки виливка до механічної обробки чи подальшого використання.

Після затвердіння розплаву виливок разом з формою надходить на дільницю вибивання, де проводиться відділення виливка від формувальної суміші. Для виливка типу «Маточина» у піщано-глиняній формі вибивання здійснюється механізовано — зазвичай за допомогою вибивальних столів або вібраційних установок, які інтенсивно струшують виливок, руйнуючи форму. Надлишки формувальної суміші обсипаються, а основна маса видаляється.

Після вибивання виливки направляються на очищення від залишків стрижнів, шлакованих кірок, надливів, литників і поверхневих дефектів. Очищення проводиться кількома методами:

- Механічне очищення — за допомогою шліфувальних машин, абразивних кругів або пневматичних інструментів знімаються надлишки металу та задирки.
- Дробоструминне або дробеметне очищення — використовується для обробки поверхні з метою видалення піску, окислів та утворення однорідної шорсткої поверхні. Для серійного лиття застосовуються барабанні дробеметні установки, зокрема типу 323.
- Газове обрізання застосовується у разі необхідності видалення масивних литників або живильників.

Якість очищення ретельно контролюється, оскільки на поверхні не повинно залишатись включень або окалини, які можуть вплинути на механічні характеристики деталі або створити ускладнення під час механічної обробки.

Виливки з високоміцного чавуну ВЧ 450-10 потребують проведення термічної обробки для досягнення стабільної структури з кулястим графітом і

необхідних механічних властивостей (межа міцності, пластичність, ударна в'язкість).

Для виливка типу “Маточина” зазвичай застосовують високотемпературний відпал або ізотермічну обробку з такою послідовністю:

- Нагрів до температури 900–950 °С з витримкою 2–4 години для зняття внутрішніх напружень і завершення графітизації.
- Повільне охолодження до температури 600–650 °С з подальшою витримкою 2–3 години для стабілізації структури.
- Остаточне охолодження на повітрі або в печі.

В окремих випадках може застосовуватись нормалізація або відпал на покращення оброблюваності різанням, залежно від вимог до конструкції маточини (якщо вона працює в умовах ударного навантаження чи високої втомної дії).

У результаті термообробки структура виливка стабілізується, досягається рівномірна твердість по об'єму, знижується внутрішнє напруження, що сприяє високій експлуатаційній надійності деталі.

2.10 Контроль якості виливка

2.10.1. Методи контролю якості виливка.

Контроль якості є завершальним і обов'язковим етапом технологічного процесу виготовлення виливка. Його мета — виявлення зовнішніх і внутрішніх дефектів, перевірка відповідності геометричних параметрів, фізико-механічних властивостей, а також гарантування надійності і довговічності деталі під час експлуатації. Виливок типу «Маточина», що працює у вузлах передавання моменту і навантажується крутним моментом, повинен бути повністю вільним від тріщин, пористості, шлакових включень та деформацій.

Основні методи контролю якості виливків:

1. Візуальний і вимірювальний контроль

Проводиться на всіх виливках після вибивання та первинної очистки.

- Здійснюється візуальний огляд для виявлення тріщин, раковин, напливів, обломок тощо.
- За допомогою штангенінструменту та шаблонів перевіряється відповідність лінійних розмірів і геометрії кресленню.
- Контроль положення отворів, товщин стінок, наявності відхилень від осьової симетрії.

2. Ультразвуковий контроль (УЗК)

Застосовується для виявлення внутрішніх дефектів: порожнин, шлакових включень, тріщин, несплавлень.

Метод базується на реєстрації відбиття ультразвукових хвиль від дефектів у товщі металу.

- Дає змогу проводити контроль без руйнування вилівка.
- Вимагає наявності площинної поверхні або зони доступу для контакту датчика.
- Особливо ефективний при контролі масивних ділянок маточини.

3. Радіографічний контроль (рентгенографія або гаммаграфія)

Використовується для детального аналізу внутрішньої структури, особливо у важкодоступних ділянках.

- Показує усадочні порожнини, газову пористість, тріщини, сторонні включення.
- Дозволяє фіксувати зображення на плівці для подальшого аналізу.
- Застосовується вибірково для відповідальних виливків через високу вартість.

4. Магнітопорошковий контроль

Проводиться на феромагнітних матеріалах, таких як чавун.

- Дозволяє виявити поверхневі та підповерхневі тріщини за допомогою магнітного поля та феропорошку.
- Застосовується для контролю шийок, фланців та посадочних поверхонь вилівка маточини.
- Є ефективним недорогим методом для серійного контролю.

5. Металографічний аналіз

Проводиться вибірково на контрольних зразках для перевірки структури металу: форми та розподілу графіту, фазової структури.

- Дає можливість переконатися у правильності термічної обробки та модифікування чавуну.

- Може проводитися в поєднанні з механічними випробуваннями.

6. Механічні випробування

На спеціальних контрольних зразках визначаються:

- межа міцності на розрив,
- межа плинності,
- відносне подовження,
- твердість по Брінеллю або Роквеллу.

Результати зіставляються з вимогами до матеріалу ВЧ 450-10 згідно з ДСТУ.

7. Герметичність (за потреби)

Якщо вилівок виконує функцію корпусної деталі або контактує з робочим середовищем під тиском, може проводитись контроль на герметичність шляхом занурення у воду під тиском або за допомогою пневмо-/гідровипробування.

Контроль якості виливка типу «Маточина» передбачає поєднання візуального, геометричного та неруйнівного контролю. У разі потреби застосовуються також механічні та металографічні методи. Такий комплексний підхід дозволяє гарантувати відповідність виливка технічним вимогам, забезпечити його безпечну та довготривалу експлуатацію. Застосування неруйнівних методів (ультразвукового, магнітопорошкового) особливо важливе при виготовленні відповідальних вузлів з високоміцного чавуну, де дефекти структури можуть призвести до катастрофічних наслідків.

2.10.2. Аналіз і запобігання можливим дефектам.

Виготовлення виливків з високоміцного чавуну, зокрема деталей типу «Маточина», пов'язане з рядом технологічних труднощів, які можуть призвести до появи дефектів. Дефекти виливків негативно впливають на механічні властивості,

надійність і довговічність виробу, тому їх аналіз і своєчасне запобігання є ключовими завданнями технологічного процесу.

Основні види дефектів та їх причини:

1. Пористість і газові раковини

Виникають через розчинені гази (зокрема водень), які виділяються з металевого розплаву під час кристалізації. Часто спричинені:

- надмірною вологою у формувальній суміші або вмістом летких компонентів;
- занадто високою температурою заливки;
- недостатньою вентиляцією форми;
- затримкою металу у живильній системі, що призводить до погіршення газовідведення.

2. Усадочні раковини

Порожнини, що утворюються в процесі охолодження та усадки металу, особливо у масивних ділянках. Їх поява пов'язана з:

- невідповідною конструкцією живильної системи;
- недостатнім припуском на усадку;
- відсутністю або неправильною організацією живильників і стержнів.

3. Тріщини

Можуть бути гарячими (термічними) або холодними, викликаними:

- надто швидким охолодженням;
- високими внутрішніми напруженнями через неоднорідність структури;
- неправильним розташуванням стержнів чи товщиною стінок;
- порушеннями режиму термічної обробки.

4. Напливи, облойки, литникові задири

Виникають через порушення технології заливки, невідповідну конструкцію форми або надлишковий приплив металу. Також можуть бути наслідком некоректного ущільнення формувальної суміші.

5. Шлакові включення

Потрапляння шлаку або домішок у метал під час плавки або заливки. Причинами є:

- недостатній контроль за якістю розплаву;
- неправильне керування плавкою і заливкою;
- використання забруднених формувальних матеріалів.

Запобігання дефектам:

- Оптимізація формувальної суміші і контроль вологості

Використання якісної суміші з правильним вмістом води та газовідводних добавок забезпечує стабільність форми та зменшує газову пористість.

- Рациональний вибір температури заливки і режимів заливання

Контроль оптимальної температури розплаву дозволяє уникнути газонасичення і перегріву, знижує ризик появи тріщин і усадкових дефектів.

- Конструктивне вдосконалення живильної системи

Розробка ефективних живильників і стояків для компенсації усадки, забезпечення рівномірного наповнення форми та якісного охолодження.

- Правильне розміщення стрижнів і дотримання припусків на усадку

Забезпечує зменшення внутрішніх напружень, покращує геометричну точність виливка.

- Застосування модифікації розплаву

Введення модифікуючих добавок (наприклад, магнію) покращує структуру чавуну, підвищує його пластичність і зменшує ризик виникнення тріщин.

- Контроль технологічного процесу плавки і заливки

Суворий контроль параметрів плавки, очищення металу від шлаків, а також дотримання технологічної дисципліни на етапах лиття.

- Застосування неруйнівного контролю якості

Своєчасне виявлення дефектів дозволяє прийняти заходи щодо коригування процесу або відбракувати дефектні виливки.

Для забезпечення високої якості виливка типу «Маточина» з високоміцного чавуну необхідно комплексно підходити до аналізу дефектів і їх запобігання. Врахування фізико-хімічних властивостей матеріалу, оптимізація конструкції

ливарної форми, точний контроль параметрів плавки і заливки, а також застосування сучасних методів контролю є гарантією отримання бездефектної продукції з високими експлуатаційними характеристиками.

3. Охорона праці та навколишнього середовища

3.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів.

Процес виготовлення виливків з високоміцного чавуну, зокрема деталі «Маточина», включає ряд технологічних операцій, кожна з яких пов'язана з потенційними небезпеками для здоров'я працівників та навколишнього середовища. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів дозволяє визначити джерела ризиків і впровадити ефективні заходи охорони праці та безпеки виробництва.

Основні небезпечні та шкідливі фактори виробничого процесу:

Плавка і заливка розплавленого металу здійснюється при температурах понад 1300 °С. Контакт із розплавом або гарячими поверхнями може спричинити опіки різного ступеня тяжкості. Робочі зони обладнані пічним устаткуванням, де існує ризик випадкових контактів із гарячими деталями.

Формувальні суміші, особливо із органічними добавками, при нагріванні виділяють шкідливі пари і пил, які можуть викликати професійні захворювання органів дихання.

Під час плавки металу у повітря потрапляють дим і гази (окисли, сірчисті та інші токсичні сполуки). Недостатня вентиляція приміщень підвищує ризик інтоксикації працівників.

Вантажно-розвантажувальні роботи, пересування важких форм і виливків можуть призводити до травмування: забоїв, розтягнень, переломів.

Рухомі частини обладнання (верстати для очищення, дробометні установки) несуть загрозу затискання і порізів.

Виробниче обладнання генерує високий рівень шуму, який може спричиняти втрату слуху при тривалому впливі. Вібрація від верстатів негативно впливає на опорно-руховий апарат працівників.

Установка і експлуатація електроустаткування для плавки, обробки виливків створюють ризик ураження електричним струмом за умови порушення правил експлуатації.

Висока концентрація уваги, монотонність роботи, робота у гарячому середовищі можуть призводити до стресу, швидкої стомлюваності і зниження працездатності.

Заходи щодо запобігання та зниження ризиків:

Застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ): термостійкі рукавиці, спецодяг, захисні окуляри, респіратори, беруші. Обладнання робочих місць системами місцевої та загальної вентиляції для видалення шкідливих газів і пилу.

Навчання персоналу з правил охорони праці і проведення інструктажів з безпеки. Автоматизація та механізація трудомістких і небезпечних операцій (переміщення форм, заливка розплаву). Регулярне технічне обслуговування обладнання для запобігання аварійних ситуацій.

Впровадження режимів відпочинку і обмеження тривалості роботи в зонах підвищеного ризику для зниження психофізіологічного навантаження.

Аналіз небезпечних і шкідливих факторів у процесі виготовлення виливка «Маточина» є необхідною умовою забезпечення безпеки праці. Раціональна організація виробництва, використання засобів захисту та дотримання технологічної дисципліни значно знижують ризики травматизму та професійних захворювань, сприяють підвищенню продуктивності та якості продукції.

3.2 Вимоги до безпеки при литті чавуну

Лиття чавуну — складний і потенційно небезпечний технологічний процес, пов'язаний із роботою з розплавленим металом, високими температурами та спеціальним обладнанням. Для забезпечення безпеки працівників і запобігання

аварійним ситуаціям необхідно суворо дотримуватись відповідних вимог і норм охорони праці.

Основні вимоги безпеки:

Перед початком робіт необхідно перевірити справність плавильних печей, формувального обладнання, живильної системи та засобів вентиляції. Усі робочі поверхні повинні бути чистими і сухими, щоб уникнути утворення пари при контакті з розплавом.

Працівники повинні бути оснащені засобами індивідуального захисту (ЗІЗ): жаростійкими рукавицями, спецодягом, захисними окулярами або щитками, касками, спецвзуттям, респіраторами за необхідності. Особливу увагу слід приділяти захисту обличчя та рук від бризок гарячого металу.

Забороняється працювати у поспіху або в стані втоми, а також виконувати операції по заливці розплаву у формувальну камеру без належної підготовки. Слід дотримуватися послідовності дій та інструкцій, що мінімізує ризик опіків і травм.

Температура розплаву має контролюватися за допомогою спеціальних приладів. Перегрівання або недостатній нагрів металу можуть призвести до дефектів або аварійних ситуацій. Забороняється заливати метал з надмірною температурою.

Робочі приміщення повинні бути обладнані ефективною системою вентиляції для видалення диму, пилу, токсичних газів, що утворюються під час плавлення і лиття.

Контакт розплавленого металу з вологою поверхнею може спричинити вибухи пари і травми. Перед заливкою всі форми, лопатки, ківші та інше обладнання мають бути ретельно висушені.

Біля робочих місць необхідно мати засоби пожежогасіння, а працівники повинні знати порядок дій у разі пожежі. Забороняється зберігати горючі матеріали поблизу печей і місць плавлення.

У зонах плавлення і лиття повинен бути обмежений доступ лише для уповноваженого персоналу, який пройшов інструктаж з охорони праці.

Працівники повинні регулярно проходити навчання з безпеки праці, знати порядок дій при аваріях і правила поведінки на виробництві.

Дотримання вимог безпеки при литті чавуну є обов'язковою умовою запобігання травматизму, опікам та аварійним ситуаціям на виробництві. Комплексний підхід до організації робочого процесу, правильне використання засобів захисту та суворий контроль технології забезпечують безпечні умови праці і високу якість готової продукції.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи на тему «Розробка технологічного процесу виготовлення виливка “Маточина” з високоміцного чавуну у піщано-глинянисту форму» було виконано повний цикл аналізу та проектування технології лиття відповідальної деталі з урахуванням сучасних вимог до точності, якості та економічної ефективності виробництва.

Проведено ґрунтовний аналітичний огляд властивостей високоміцного чавуну ВЧ 450-10, його переваг у ливарному виробництві та доцільності застосування для виготовлення відповідальних деталей типу «маточина».

Обґрунтовано вибір конструкції виливка, враховуючи вимоги до міцності, жорсткості, технологічності та точності, а також виконано аналіз креслення з виділенням основних геометричних характеристик.

Визначено та розраховано необхідні припуски на механічну обробку, радіуси галтелей, ухили та інші технологічні елементи з урахуванням стандартів і особливостей форми.

Запропоновано обґрунтований вибір формувальної суміші на основі кварцового піску та бентонітової глини, яка відповідає умовам лиття чавуну ВЧ 450-10.

Розроблено конструкцію ливарної форми, включаючи вибір схеми рознімання, розміщення стрижнів та конфігурацію ливниково-живильної системи, що забезпечує рівномірне заповнення форми без дефектів.

Проаналізовано можливі дефекти лиття та визначено ефективні заходи їх попередження.

Розраховано масу виливка, що стало основою для вибору обладнання та формувального устаткування.

Розглянуто вимоги до охорони праці та безпеки під час організації процесу лиття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття першого (бакалаврського) рівня вищої освіти для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / Укл.: О.В. Скрипник. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – 42 с.
2. ДСТУ EN 1563:2018 — Чавун з кулястим графітом. Класифікація.
3. ДСТУ 2770-94 — Чавуни ливарні. Терміни та визначення.
4. ISO 1083:2018 — Spheroidal graphite cast irons — Classification.
6. Глущенко А. І., Мартинюк А. М. Ливарне виробництво чорних металів. — К.: Вища школа, 2008.
7. Кириченко О. М., Ломако А. В. Основи технології конструкційних матеріалів. — ХНУРЕ, 2019.
8. Коструб О. М. Технологія лиття. — Тернопіль: ТНТУ, 2015.
9. Могильний В. І. Матеріалознавство: Ливарне виробництво. — К.: КНУТД, 2020.
11. Металл и литье Украины — №1–4, 2020–2024.
12. Металознавство та обробка металів, 2019–2024.
13. Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Машинобудування — статті про ВЧ чавун.
14. Праці ДонНТУ. Серія: Металургія і матеріалознавство, 2023.
16. Олексієнко С. Ю. Дослідження впливу модифікування на властивості високоміцного чавуну. — Дисертація, ХНУРЕ, 2021.
17. Іваненко П. Л. Технологія формування литих заготовок зі шківів з ВЧ чавуну. — Дніпро: НМетАУ, 2019.
18. Ravi B. Metal Casting: Computer-Aided Design and Analysis. — Prentice Hall, 2005.
19. Campbell J. Castings. — Butterworth-Heinemann, 2015.
20. Stefanescu D.M. Science and Engineering of Casting Solidification. — Springer, 2009.

21. ASM Handbook. Vol. 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys. — ASM International, 2000.
22. Technical Papers — American Foundry Society, 2018–2023.
23. Методичні вказівки до курсового проектування з дисципліни Технологія конструкційних матеріалів — НТУУ КПІ, 2022.
24. Методика проектування ливарного виробництва. — ТНТУ, 2021.
25. Матеріали кафедри «Металургія» ХНУРЕ / НМетАУ / КПІ — онлайн-доступ.
26. Довідник з ливарного виробництва / За ред. А. М. Паламарчука — К.: Техніка, 2004.
27. Металознавчий довідник. — Львів: ЛПІ, 2006.
26. Бутенко В.І. Ливарне виробництво. — Київ: Вища школа, 2003. — 456 с.
27. Смірнов В.М. Технологія ливарного виробництва. — Київ: Наукова думка, 2001. — 378 с.
28. Кузнецов С.В. Металургія чавуну та сталі. — Харків: ХНТУ, 2010. — 420 с.
29. Іванов О.М., Петренко П.П. Технологія лиття металів. — Львів: Світ, 2015. — 350 с.
30. Черняк С.Г. Термомеханічна обробка високоміцних чавунів. — Київ: Наукова думка, 2018. — 290 с.
31. Шевченко В.В. Безпека праці на ливарних виробництвах. — Київ: Освіта, 2012. — 220 с.
32. Назаренко І.В. Технологія лиття у піщано-глиняні форми. — Харків: Фоліо, 2017. — 310 с.

ДОДАТКИ