

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

«Розробка технологічного процесу виготовлення картера маховика ДВЗ»

Рівень вищої освіти перший бакалаврський
Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 132 Матеріалознавство
Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів

Шифр **КвРМТВА. 23108.02.07.00**

Виконав студент 3-го курсу
група МТВАс 23-2
Шифр


Підпис

Владислав ЗНАМЕН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник к.т.н., доц.
Науковий ступінь, звання


Підпис

Олександр РУДИК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер


Підпис

Олег МАКОВКІН
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ
Назва


Підпис

Олександр ДИХА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата 9 06.26

Хмельницький 2026

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства
Рівень вищої освіти перший бакалаврський
Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 132 Матеріалознавство
Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ТАМ
Диха О.В.
" 15 " 04 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Знамену Владиславу Миколайовичу
Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: «Розробка технологічного процесу виготовлення картера маховика ДВЗ»

Керівник роботи: Рудик Олександр Юхимович к.т.н., доцент каф. ТАМ
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 20.01.2026 р. № 7 (Д 14)

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 10.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту: матеріали курсових проектів, робіт, практики.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Технічний опис та інструкція з експлуатації двигуна Д-144 та картера маховика.

2. Призначення матеріалу картера маховика ДВЗ Д-144.

3. Розробка технологічного процесу термічної обробки картера маховика ДВЗ Д-144.

4. Розробка технологічного процесу виготовлення виливки картера маховика.

5. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень): розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 15.04.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строки виконання	Примітка
1	Технічний опис та інструкція з експлуатації двигуна Д-144 та картера маховика.	18.04.26	вик.
2	Призначення матеріалу картера маховика ДВЗ Д-144.	24.04.2026	вик.
3	Розробка технологічного процесу термічної обробки картера маховика ДВЗ Д-144.	01.05.2026	вик.
4	Розробка технологічного процесу виготовлення виливки картера маховика.	10.05.2026	вик.
5	Висновки.	29.05.2026	вик.
	Захист роботи	11.06.2026	

Студент


Підпис

Владислав ЗНАМЕН
Ім'я, прізвище

Керівник роботи


Підпис

Олександр РУДИК
Ім'я, прізвище

РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 78 сторінок, кількість рисунків – 15, таблиць – 5, додатків – 2, кількість джерел згідно із переліком посилань – 27.

Студент гр. МТВАс-23-2 Знамен В.М.

Тема «Розробка технологічного процесу виготовлення картера маховика ДВЗ».

Дана кваліфікаційна робота присвячена розробці технологічного процесу виготовлення картера маховика ДВЗ Д-144.





У кваліфікаційній роботі вирішувались наступні завдання:

- розглянути призначення, будову і роботу складових частин ДВЗ Д-144;
- представити загальні відомості про картер маховика ДВЗ;
- навести необхідні експлуатаційні параметри матеріалу картера маховика з обґрунтуванням його вибору;
- розробити ТП термічної обробки картера маховика з призначенням відповідного обладнання;
- розрахувати режими різання при механічній обробці виливки картера маховика.

Перелік ключових слів: ДВЗ, Д-144, КАРТЕРА МАХОВИКА, ЧАВУН, СЧ18, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, МЕХАНІЧНА ОБРОБКА

Зміст

Анотація	6
Abstract	7
Перелік скорочень.....	8
Вступ	10
1 Технічний опис та інструкція з експлуатації двигуна Д-144	
та його картера маховика.....	11
1.1 Призначення, будова і робота складових частин двигуна Д-144.....	11
1.2 Загальні відомості про картер маховика ДВЗ Д-144.....	13
2 Призначення матеріалу картера маховика ДВЗ Д-144.....	19
2.1 Необхідні експлуатаційні параметри матеріалу картера маховика ДВЗ Д-144	19
2.2 Обґрунтування вибору матеріалу для виготовлення картера маховика ..	21
2.3 Вплив хімічного складу та структури СЧ на його фізико-механічні та технологічні характеристики	29
2.4 Вибір марки СЧ для виготовлення картера маховика.....	32
3 Розробка технологічного процесу термічної обробки картера маховика	
ДВЗ Д-144	35
3.1 Призначення обладнання для термічної обробки картера маховика	41

КвРМТВА. 23108.02.07.00				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Знамен		
Перевір.		Рудик		
Н. Контр.		Маковкін		
Затверд.		Диха		
Розробка технологічного процесу виготовлення картера маховика ДВЗ				
			Літ.	Арк.
			4	67
ХНУгр.МТВАс-23-2				

Зміст

Анотація	6
Abstract	7
Перелік скорочень.....	8
Вступ	10
1 Технічний опис та інструкція з експлуатації двигуна Д-144	
та його картера маховика.....	11
1.1 Призначення, будова і робота складових частин двигуна Д-144	11
1.2 Загальні відомості про картер маховика ДВЗ Д-144.....	13
2 Призначення матеріалу картера маховика ДВЗ Д-144.....	19
2.1 Необхідні експлуатаційні параметри матеріалу картера маховика ДВЗ Д-144	19
2.2 Обґрунтування вибору матеріалу для виготовлення картера маховика ..	21
2.3 Вплив хімічного складу та структури СЧ на його фізико-механічні та технологічні характеристики	29
2.4 Вибір марки СЧ для виготовлення картера маховика	32
3 Розробка технологічного процесу термічної обробки картера маховика ДВЗ Д-144	35
3.1 Призначення обладнання для термічної обробки картера маховика	41

					КВРМТВА. 23108.02.07.00			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Знамен				Розробка технологічного процесу виготовлення картера маховика ДВЗ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Рудик					4	85	
Н. Контр.	Маковкін				ХНУГр.МТВАс-23-2			
Затверд.	Диха							

4 Розробка технологічного процесу виготовлення картера маховика.....	45
4.1 Обґрунтування вибору способу отримання виливки картера маховика..	45
4.2 Розрахунок припусків на механічну обробку картера маховика	45
4.3 Розрахунок мінімально допустимої товщини стінок виливки	46
4.4 Розрахунок радіусів галтелей і закруглень виливки	47
4.5 Розрахунок формувальних ухилів.....	48
4.6 Розробка ливарного стержня	48
4.7 Розрахунок маси виливки картера маховика	49
4.8 Розрахунок розмірів опок.....	50
4.9 Розрахунок елементів ливникової системи.....	50
4.10 Визначення маси стержня і формувальної суміші	
4.11 Розрахунок режимів різання при механічній обробці виливки картера маховика.....	57
4.11.1 Розрахунок різального інструменту	57
4.11.2 Розрахунок подачі	58
4.11.3 Розрахунок швидкості різання	59
4.11.4 Розрахунок сили різання.....	60
4.11.5 Розрахунок потужності різання	61
4.11.6 Розрахунок машинного часу	62
Висновки.....	63
Список використаних джерел	64
Додатки	67

Анотація

Картер маховика слугує проміжною ланкою для з'єднання ДВЗ з остовом машини або трансмісійними елементами. Завдяки цьому забезпечується жорстке та надійне кріплення силового агрегату, а також точне взаємне розташування вузлів при передачі крутного моменту. Крім того, картер маховика виконує функцію захисту внутрішніх деталей ДВЗ від механічних пошкоджень і впливу зовнішнього середовища, що підвищує довговічність та надійність роботи всього агрегату.

Тому представлені загальні відомості про картер маховика, наведені необхідні експлуатаційні параметри його матеріалу. Досліджений вплив хімічного складу та структури сірого чавуну на його фізико-механічні та технологічні характеристики. Для виготовлення картера маховика вибраний сірий чавун СЧ18.

Розроблений ТП термічної обробки картера маховика з призначенням відповідного обладнання. Обґрунтований спосіб отримання вилівки картера з розрахунком припусків на механічну обробку, маси вилівки, розмірів опок та елементів ливникової системи. Визначена маса стержня і формувальної суміші. Розраховані режими різання при механічній обробці вилівки. Наведені маршрутні та операційні карти ТП виготовлення картера маховика.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Abstract

The flywheel housing serves as an intermediate strap for connecting the engine with the vehicle frame or transmission elements. This will ensure that the power unit is firmly and reliably fastened, as well as more precise mutual alignment of the components when transmitting torque. In addition, the flywheel housing has the function of protecting the internal parts of the engine from mechanical damage and the influx of external fluid, which increases the durability and reliability of the entire unit.

We present additional information about the flywheel housing and provide information on the necessary operating parameters of the material. Research into the infusion of the chemical warehouse and structure of grey chavun on its physical, mechanical and technological characteristics. To prepare the flywheel housing, use a series of chavun SCH18.

Disintegration of the thermal processing of the flywheel housing due to the characteristics of its specific properties. A method for trimming a crankcase molding with different allowances for mechanical processing, the weight of the molding, the dimensions of the flasks and the elements of the shower system. The weight of the rod and the formula mixture is determined. Developed cutting modes during mechanical die casting. The route and operational maps of the TP for the production of the flywheel housing are provided.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перелік скорочень

ЗСУ – збройні сили України.

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання.

СЧ – сірий чавун.

Fe – залізо.

C – вуглець.

Si – кремній.

Mn – марганець.

S – сірка.

P – фосфор.

Cr – хром.

Ni – нікель.

Cu – мідь.

Gr – графіт.

ТП – технологічний процес.

ТЕРС – термоелектрорушійна сила.

σ_b – межа міцності при розтягу, [МПа].

σ_c – межа міцності при стиску, [МПа].

τ_b – межа міцності при зсуві, [МПа].

σ_u – ударна в'язкість.

НВ – твердість за Брінеллем, [МПа].

E – модуль пружності першого роду, [МПа].

δ – відносне подовження при розриві, [%].

λ – теплопровідність [Вт/(м·К)].

σ_{-1} – межа витривалості на стиск-розтяг (симетричний цикл).

KCU – ударна в'язкість, [кДж/м²].

ψ – відносне звуження, [%].

γ – щільність, [г/см³].

c – питома теплоємність [Дж/(кг·°C)].

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$t_{л}$ – температура лиття, [°С].

α – коефіцієнт теплового (лінійного) розширення, [1/Град].

φ – відносна пластичність [%].

$V_{екв}$ – еквівалентна швидкість різання, [м/хв.].

λ_p – рідкотекучість, [мм].

$\sigma_{зал}$ – залишкові напруження, [МПа].

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Актуальність теми. Дизель Д-144 використовується як агрегат живлення на різних зразках військової техніки ЗСУ. Картер маховика – складова частина ДВЗ і є об'ємною конструкцією коробчастого типу. Він слугує проміжною ланкою для з'єднання ДВЗ з трансмісійними елементами. Завдяки цьому забезпечується жорстке та надійне кріплення силового агрегату, а також точне взаємне розташування вузлів при передачі крутного моменту. Крім того, картер маховика виконує функцію захисту внутрішніх деталей ДВЗ від механічних пошкоджень і впливу зовнішнього середовища, що підвищує довговічність та надійність роботи всього агрегату. Тому розробка технологічного процесу його виготовлення є актуальною.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

- розглянути призначення, будову і роботу складових частин ДВЗ Д-144;
- представити загальні відомості про картер маховика ДВЗ;
- навести необхідні експлуатаційні параметри матеріалу картера маховика з обґрунтуванням його вибору;
- розробити ТП термічної обробки картера маховика з призначенням відповідного обладнання;
- розрахувати режими різання при механічній обробці виливки картера маховика.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 Технічний опис та інструкція з експлуатації двигуна Д-144 та його картера маховика

1.1 Призначення, будова і робота складових частин двигуна Д-144

Дизелі типу Д-144 застосовуються як силові установки, призначені для роботи в умовах вільного доступу повітря, тобто за відсутності обмежень щодо повітрообміну (рис. 1.1). Завдяки використанню ефективної системи повітряного охолодження ці двигуни здатні надійно функціонувати в різноманітних кліматичних умовах. Їх експлуатація допускається в широкому температурному діапазоні — від $t = (+40) \text{ }^\circ\text{C}$ до $t = (-40) \text{ }^\circ\text{C}$, що забезпечує універсальність використання як у жаркому, так і в холодному середовищі [1]. Також дизель Д-144 використовується як агрегат живлення на різних зразках військової техніки ЗСУ.

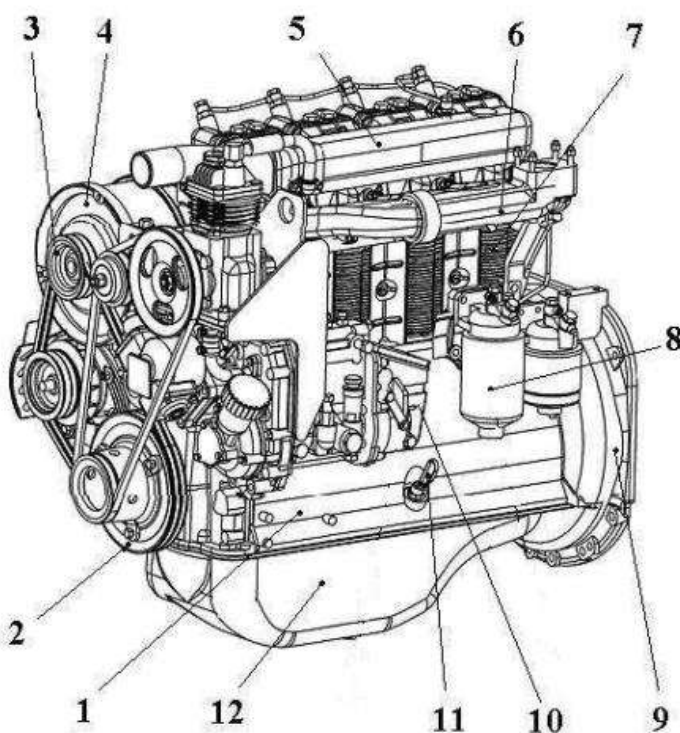


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд двигуна Д-144

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дизель Д-144 є 4-циліндровим, 4-тактним ДВЗ з безпосереднім упорскуванням палива та системою повітряного охолодження. Конструкція ДВЗ включає основні корпусні елементи, кривошипно-шатунний механізм, механізм газорозподілу, а також декомпресійний пристрій, який полегшує запуск. Крім того, до складу входять системи живлення паливом, мащення та охолодження, електрообладнання, а також допоміжні вузли й контрольно-вимірювальні прилади, які забезпечують стабільну та безпечну роботу агрегату.

Загальний вигляд ДВЗ Д-144, що відображає розміщення основних вузлів та агрегатів, наводиться у відповідних технічних матеріалах (див. рис. 1.2), що дозволяє краще зрозуміти його конструктивні особливості та принцип дії.



1 – картер ДВЗ; 2 - шків ведучий приводу вентилятора; 3 - шків ведений приводу вентилятора; 4 - вентилятор; 5 – впускний трубопровід; 6 – випускний трубопровід; 7 - циліндр; 8 - паливний фільтр тонкого очищення; 9 - картер маховика; 10 – паливний насос; 11 - щуп-мастиломір; 12 – масляний картер

Рисунок 1.2 – ДВЗ Д-144

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Загальні відомості про картер маховика ДВЗ Д-144

Картер 1 (див. рис. 1.2) є базовою корпусною деталлю ДВЗ, яка виконує функцію несучого елемента для розміщення та кріплення його основних вузлів і механізмів. У внутрішніх розточках картера змонтовано 4 циліндри, які забезпечують робочий об'єм ДВЗ. У нижній частині циліндри герметизуються за допомогою ущільнювальних прокладок, які запобігають витіканню робочих рідин та проникненню сторонніх частинок у внутрішній простір [2-4].

На задньому торці картера ДВЗ встановлюється картер маховика 9, який слугує проміжною ланкою для з'єднання ДВЗ з остовом машини або трансмісійними елементами. Завдяки цьому забезпечується жорстке та надійне кріплення силового агрегату, а також точне взаємне розташування вузлів при передачі крутного моменту. Крім того, картер виконує функцію захисту внутрішніх деталей ДВЗ від механічних пошкоджень і впливу зовнішнього середовища, що підвищує довговічність та надійність роботи всього агрегату.

До переднього торця картера ДВЗ жорстко кріпиться передній лист, який виконує функцію опорної та монтажної поверхні для встановлення ряду важливих вузлів. Зокрема, на ньому розміщуються паливний насос високого тиску, що забезпечує подачу палива до циліндрів, а також кришка розподільних шестерень, яка захищає механізм газорозподілу та привідні елементи від забруднення та механічних пошкоджень.

У нижній частині картер ДВЗ закритий масляним картером 12 (див. рис. 1.2), який виконує роль резервуара для зберігання мастильного матеріалу. Масляний картер забезпечує накопичення, охолодження та часткове очищення мастила, яке циркулює в системі мащення ДВЗ. Крім того, він сприяє відведенню тепла від нагрітих деталей та запобігає витіканню мастила, тим самим підвищуючи надійність і довговічність роботи ДВЗ.

Остов ДВЗ є його нерухомою частиною, яка служить базовою конструктивною основою для розміщення як внутрішніх, так і зовнішніх елементів механізмів і систем (рис. 1.3). Саме на остові монтуються основні вузли

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДВЗ, що забезпечує їх правильне взаємне розташування та узгоджену роботу в процесі експлуатації.



Рисунок 1.3 – Картер маховика дизеля Д-144 [2]

Картер маховика формує зовнішній контур ДВЗ і складається з комплексу нерухомих деталей, які сприймають основні навантаження, що виникають під час роботи. До таких навантажень належать сили тиску газів у циліндрах, а також інерційні сили, зумовлені рухом кривошипно-шатунного механізму та інших рухомих частин. Завдяки цьому картер маховика виконує не лише опорну, але й силову функцію, забезпечуючи міцність і стійкість усієї конструкції.

Конструктивні елементи остова повинні бути жорстко з'єднані між собою, утворюючи єдину міцну систему, а також надійно закріплені на рамі, де встановлений ДВЗ. Така вимога обумовлена необхідністю забезпечення точності роботи механізмів, зменшення вібрацій і підвищення довговічності як самого ДВЗ, так і суміжних агрегатів.

У ДВЗ типу Д-144 дизель функцію остова виконує картер моделі ДЗ7М-1002010А, який є основною несучою частиною конструкції. Саме до нього кріпляться ключові вузли та агрегати силового агрегату, що забезпечують його

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повноцінне функціонування. До основних складових, які монтуються на картері, належать:

- циліндри (гільзи);
- картер маховика;
- паливний насос;
- кришка механізмів.

Чотири циліндри (гільзи) встановлюються у спеціально виконаних розточках картера, що гарантує їх точне позиціонування та герметичність з'єднання. На задньому торці картера закріплюється картер маховика, за допомогою якого ДВЗ з'єднується з остовом, забезпечуючи передачу крутного моменту та надійність кріплення. Паливний насос та кришки розподільних шестерень забезпечують роботу системи подачі палива та захист механізму газорозподілу від зовнішніх впливів.

У поперечних перегородках нижньої частини картера виконані розточки, які утворюють опорні поверхні для встановлення колінчастого валу. Разом із кришками вони формують постелі корінних підшипників, які сприймають основні навантаження та забезпечують стабільне обертання валу. Знизу картер ДВЗ герметично закривається масляним картером, який виконує функцію резервуара для мастила та сприяє ефективній роботі системи мащення ДВЗ.

Основні формоутворювальні елементи картера маховика є 2 циліндричні отвори, які розташовані на одній осі, що забезпечує їх співвісність і точність взаємного положення. Саме ці отвори визначають базову геометрію виробу та відіграють ключову роль у забезпеченні правильної роботи деталі в складі механізму, зокрема під час встановлення валів або інших спряжених елементів (рис. 1.4).

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

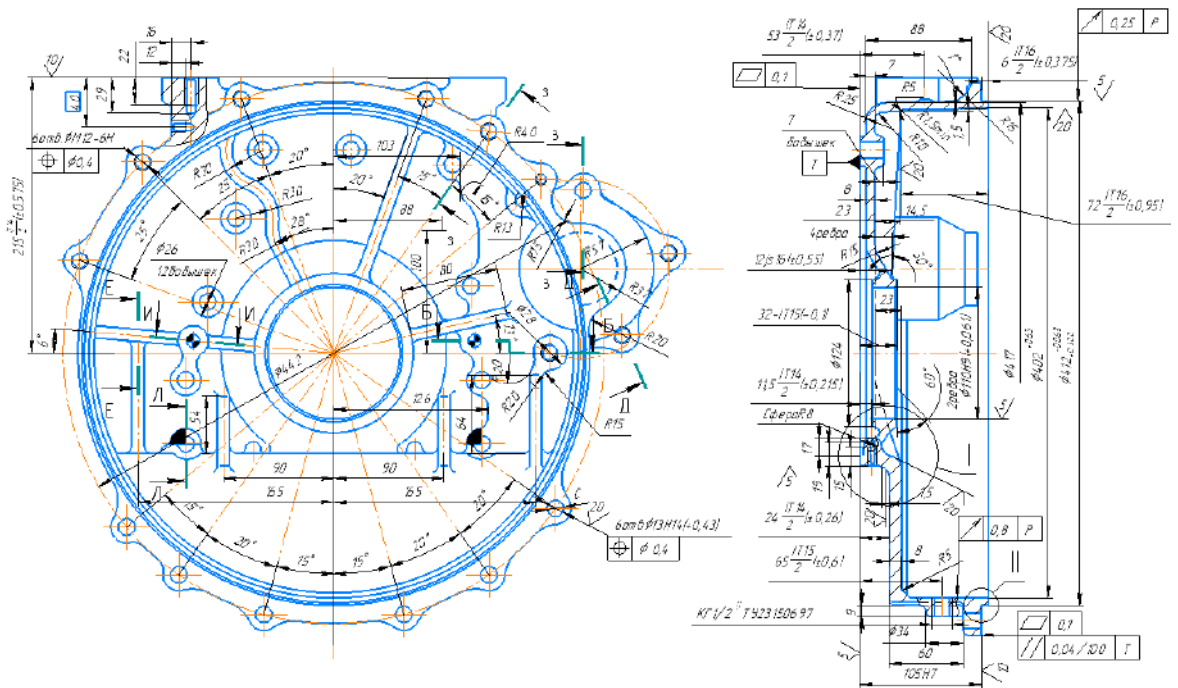


Рисунок 1.4 – Картер маховика ДВЗ Д-144 [2]

Окрім основних отворів, конструкція картера маховика передбачає наявність 2-х бічних площин (площадок), на яких також виконані отвори допоміжного призначення. Такі отвори, як правило, використовуються для кріплення деталі до інших елементів конструкції або для фіксації її положення в просторі. Наявність бічних площадок із отворами підвищує функціональність картера маховика, забезпечує зручність монтажу та сприяє надійності експлуатації вузла в цілому.

Шість різьбових отворів на бічній площині картера маховика призначені для його надійного кріплення до корпусу ДВЗ. Дані отвори забезпечують жорстке з'єднання деталі з іншими елементами конструкції, що сприяє правильному взаємному розташуванню вузлів і підвищує загальну міцність з'єднання в умовах експлуатаційних навантажень.

На необроблених (литих) поверхнях деталі допускається наявність окремих дефектів лиття в межах встановлених технічних вимог. Зокрема, дозволяються газові раковини з найбільшим лінійним розміром не $> 10,0$ мм і глибиною до 1,50 мм за умови, що відстань між ними становить не $< 50,0$ мм. Такі дефекти не повинні концентруватися в одному місці, щоб уникнути зниження міцності матеріалу.

										Арк.
										16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КвРМТВА. 23108.02.07.00					

Крім того, допускається наявність поодиноких раковин із максимальним розміром до 3,0 мм і глибиною до $h = 1,50$ мм у кількості не більше 3-х на кожній поверхні. При цьому вони повинні бути розташовані на відстані не $< 30,0$ мм одна від одної, а також не ближче ніж 5,0 мм до країв деталі та отворів. Дотримання цих вимог забезпечує збереження експлуатаційних характеристик картера маховика та його надійність у складі виробу.

У зонах розташування ребер жорсткості та бобишок діаметром до $d = 26,0$ мм (на необроблених внутрішніх поверхнях картера маховика) допускається наявність незначних напливів металу, що утворюються в процесі лиття. Такі дефекти не повинні суттєво впливати на функціональні характеристики картера маховика або ускладнювати його подальший монтаж та експлуатацію. Водночас торцеві поверхні бобишок повинні бути чистими, рівними та без будь-яких дефектів, оскільки вони слугують опорними або базовими поверхнями.

На інших необроблених поверхнях не допускається наявність слідів спаю (холодних швів) глибиною понад $h = 0,40$ мм, оскільки такі дефекти можуть призводити до зниження міцності та герметичності картера маховика. У разі виявлення відливок зі слідами спаю їх необхідно піддавати додатковому контролю на герметичність із використанням керосину, що дозволяє виявити можливі мікротріщини або порушення суцільності матеріалу. Це забезпечує відповідність картера маховика встановленим технічним вимогам та підвищує його надійність під час експлуатації.

Після виконання механічної обробки на окремих поверхнях картера маховика допускається наявність залишкової «чорноти», що не впливає на експлуатаційні характеристики виробу. Також дозволяються відколи на бурті II довжиною не $> 40,0$ мм у кількості не більше 2-х на одну деталь. Усі виявлені відколи підлягають обов'язковому зачищенню з метою усунення гострих крайок та запобігання концентрації напружень.

Якщо окремі розміри не зазначені на кресленні, слід дотримуватись таких параметрів:

– ливарні радіуси приймаються в межах $r = (3-5)$ мм;

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- формувальні уклони не повинні перевищувати 2° ;
- фаски на різьбових отворах виконуються розміром $1,6 \text{ мм} \times 45^\circ$.

Це забезпечує технологічність виготовлення та зручність подальшої обробки.

Точність виливки встановлюється за класом 11т-0-0-9 відповідно до вимог ДСТУ 26645-2005. Для розмірів, які не мають індивідуально вказаних граничних відхилень, зокрема довжин свердління та нарізання різьби, застосовується 14-й квалітет точності.

Несиметричність розташування осей отворів відносно осі симетрії бобишок не повинна перевищувати 3,0 мм, що гарантує правильність базування та складання картера маховика. У кільцевій канавці діаметром $d = 124,0 \text{ мм}$ допускаються незначні заливи металу довжиною не більше ніж $2/3$ загальної довжини канавки, при цьому їх висота не повинна перевищувати рівень обробленої поверхні. Дотримання зазначених вимог забезпечує відповідність картера маховика технічним умовам та її надійну роботу в складі вузла.

Картер маховика функціонує в складних експлуатаційних умовах, які характеризуються наявністю значних вібрацій, підвищених температур, змінних динамічних навантажень, а також впливом надлишкового тиску. У зв'язку з цим дана деталь повинна відповідати комплексу підвищених технічних вимог, які забезпечують її надійність, довговічність і стабільність роботи в складі ДВЗ.

Найбільш жорсткі вимоги щодо точності обробки та шорсткості поверхонь висуваються до відповідальних елементів конструкції, зокрема до отворів під циліндри, а також до верхньої та нижньої площин картера. Саме ці поверхні виконують базові та посадкові функції, тому їх геометричні параметри безпосередньо впливають на правильність складання вузла, герметичність з'єднань і рівномірність розподілу навантажень.

Що стосується інших елементів картера маховика, то вимоги до них є менш жорсткими та допускають певні відхилення в межах установлених норм. Таке диференційоване нормування дозволяє оптимізувати процес виготовлення, знизити трудомісткість обробки та водночас забезпечити необхідний рівень якості й експлуатаційної надійності виробу.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 Призначення матеріалу картера маховика ДВЗ Д-144

2.1 Необхідні експлуатаційні параметри матеріалу картера маховика ДВЗ Д-144

Здатність матеріалу протидіяти розвитку та поширенню тріщин, що характеризується його в'язкістю руйнування, основа надійності роботи деталей вузлів автомобілів. Чим вища ця характеристика, тим краще матеріал здатний поглинати енергію навантаження та запобігати переходу мікродефектів у небезпечні руйнування.

Це означає, що одним із ключових вимог під час експлуатації деталей є забезпечення їх високої стійкості до прикладених навантажень, насамперед статичних. Така стійкість необхідна для запобігання виникненню мікротріщин, надривів і локальних руйнувань поверхні, які з часом можуть призвести до втрати працездатності вузла.

Окрему увагу слід приділяти елементам корпусних деталей, зокрема картеру маховика, який під час роботи зазнає значних силових і вібраційних впливів. Для забезпечення його довговічності конструкція повинна мати достатній запас як статичної міцності, так і опору до втомного руйнування. Це дозволяє гарантувати стабільну роботу агрегату протягом тривалого терміну експлуатації в умовах змінних і циклічних навантажень.

Втомна міцність картера маховика визначається наявністю у поверхневому шарі концентраторів напружень. Саме поверхня є найбільш вразливою зоною, де найчастіше виникають мікротріщини, які за циклічних навантажень можуть поступово розвиватися і призводити до руйнування виробу. Тому якість обробки поверхні, її шорсткість та відсутність дефектів безпосередньо впливають на довговічність і працездатність картера маховика.

Надійність же слід розглядати як властивість деталі або механізму зберігати протягом заданого часу в установлених межах усі основні експлуатаційні параметри, які визначають здатність виконувати необхідні функції. При цьому враховуються різні режими роботи та умови застосування, включаючи змінні

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навантаження, температурні впливи та інші зовнішні фактори. Високий рівень надійності забезпечує стабільну роботу картера маховика без відмов протягом усього розрахункового терміну експлуатації.

Здатність деталі зберігати працездатність протягом тривалого часу до досягнення граничного стану, після якого подальша експлуатація стає неможливою, називається довговічністю. Цей показник безпосередньо залежить від процесів втоми матеріалу, абразивного та контактного зношування, а також корозійних впливів, які поступово знижують експлуатаційні характеристики виробу.

Таким чином, існує комплекс міцнісних та експлуатаційних параметрів, які найбільш тісно пов'язані з робочими властивостями картера маховика. До таких характеристик належать показники, які підвищують межу витривалості матеріалу, його опір контактній втомі, зношуванню та корозійному руйнуванню. Саме ці властивості визначають здатність картера маховика ефективно працювати в умовах тривалих циклічних навантажень.

Серед найважливіших технологічних властивостей картера маховика слід виділити герметичність, зносостійкість і загальну працездатність. Вони характеризують поведінку матеріалу та конструкції під час експлуатації, забезпечуючи стабільну роботу вузла та збереження його функціональних параметрів у заданих умовах.

Підвищена зносостійкість та міні коефіцієнт тертя спряжених поверхонь картера маховика, які взаємодіють з іншими деталями, – основа довговічності його експлуатації, оскільки саме ці параметри значною мірою визначають стабільність роботи вузла. Забезпечення таких властивостей дозволяє зменшити інтенсивність зношування контактних пар і підвищити загальну надійність механізму.

Крім експлуатаційних вимог, важливим фактором є також економічна ефективність виробництва картера. Його собівартість повинна бути мінімальною, що безпосередньо пов'язано з технологічними властивостями матеріалу та способами виготовлення. До таких властивостей належать, насамперед, ливарні

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характеристики, які визначають якість формування заготовки, а також оброблюваність різанням, що впливає на складність і вартість подальшої механічної обробки.

Таким чином, поєднання високих експлуатаційних властивостей із технологічною придатністю матеріалу є ключовою умовою ефективного виробництва та надійної роботи картера маховика.

Процес зношування, визначаючий довговічність картера маховика, у більшості випадків має втомний характер. Навіть за умов дії стабільних статичних навантажень у зоні контакту можуть виникати локальні мікропошкодження, які з часом накопичуються та призводять до руйнування поверхневого шару матеріалу. Це свідчить про те, що процес зношування відбувається не лише під впливом динамічних факторів, а й за рахунок тривалого повторюваного навантаження на мікрорівні.

Саме зносостійкість значною мірою визначає працездатність вузлів тертя. У процесі фрикційної взаємодії, поряд із пружними деформаціями, в матеріалі також виникають пластичні та руйнівні деформації, такі як зминання, зсув, а в окремих випадках – виривання частинок поверхневого шару.

Під час роботи картера маховика окремі точки контакту багаторазово проходять повторювані цикли навантаження. Такий циклічний характер взаємодії призводить до розвитку контактної втоми матеріалу, що поступово викликає накопичення мікропошкоджень і, як наслідок, відповідний знос робочих поверхонь.

2.2 Обґрунтування вибору матеріалу для виготовлення картера маховика

Картер маховика під час експлуатації зазнає зношування в умовах тертя за наявності мастильного середовища. У таких умовах значний вплив на рівень зносостійкості має структура матеріалу, зокрема кількість, форма та характер розподілу Gr включень у чавуні, якщо його вибрати для виготовлення картера.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільш сприятливими для підвищення зносостійкості вважаються середньопластинчаста, компактна та куляста форми Gr, оскільки вони забезпечують оптимальне поєднання міцності матриці та здатності до зменшення тертя. При цьому подрібнення Gr включень, як правило, призводить до збільшення інтенсивності зношування.

Варто зазначити, що надто дрібні кулясті включення Gr за своїм впливом на зносостійкість можуть поступатися навіть середньорозмірному пластинчастому Gr, характерному для СЧ. Таким чином, оптимальна морфологія Gr фази є одним із ключових факторів, що визначає експлуатаційні властивості картера в умовах тертя зі змащуванням [5-7].

СЧ під час статичних навантажень зазнає пружних деформацій, а також зворотних деформацій порожнин, заповнених Gr. Інтенсивність цих пружних змін поступово зростає зі збільшенням прикладеного навантаження, що є характерною особливістю поведінки матеріалу під дією силових факторів.

Окрім пружних деформацій, у структурі СЧ також виникають залишкові (пластичні) деформації, які зумовлені наявністю пластичної матриці та Gr включень. Саме ці незворотні зміни найбільш виражено проявляються у поверхневих шарах, де концентрація напружень є максимальною, що може призводити до утворення мікротріщин і подальшого розвитку пошкоджень.

СЧ характеризується неоднорідним характером руйнування. Йому властивий як в'язкий злам, що відбувається переважно по межах зерен і має темний вигляд на поверхні зламу, так і крихкий характер руйнування. Найчастіше спостерігається змішаний тип зламу, який поєднує в собі ознаки як в'язкого, так і крихкого руйнування матеріалу.

Також дефекти картера маховика – це поява тріщин, сколів, а також зношування поверхонь. Такі пошкодження виникають унаслідок тривалої експлуатації картера в умовах змінних навантажень і вібрацій. Осередок руйнування, як правило, формується поблизу поверхневого шару, який є найбільш навантаженою частиною деталі. Саме тут під дією циклічних напружень

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відбуваються мікродеформації матеріалу, які з часом призводять до утворення мікротріщин і подальшого розвитку пошкодження.

Найбільш характерним видом зношування картера є саме деформація його робочих поверхонь, особливо посадочних місць. Такі зміни геометрії негативно впливають на точність з'єднань, порушують співвісність вузлів і знижують загальну надійність роботи механізму.

Таким чином, для картера маховика, який під час роботи зазнає переважно статичних навантажень, найбільш доцільним матеріалом є СЧ, оскільки він поєднує достатню міцність, добру демпфувальну здатність і високі ливарні властивості.

Виливок картера маховика ДВЗ Д-144 виготовляється методом лиття у піщані (земляні) форми, що є поширеною та технологічно доступною технологією для отримання великогабаритних корпусних деталей складної конфігурації. Такий спосіб дозволяє формувати вироби з відносно невисокою собівартістю та забезпечує можливість серійного виробництва [8-10].

Для отримання якісної виливки необхідно застосовувати матеріал із високими ливарними властивостями, що забезпечує добру заповнюваність форми, мінімальну схильність до утворення дефектів і стабільність структури металу після охолодження. Крім того, матеріал виливка повинен відповідати необхідним експлуатаційним вимогам, зокрема мати достатню міцність, зносостійкість і здатність працювати в умовах тривалих навантажень без втрати працездатності.

Під час вибору оптимальної марки чавуну слід враховувати комплекс вимог, яким повинен відповідати сірий чавун як конструкційний матеріал для корпусних деталей. Насамперед він має забезпечувати достатній рівень механічної міцності, здатної протидіяти статичним навантаженням у процесі експлуатації.

Важливим критерієм також є високі ливарні властивості, що дозволяють отримувати виливки складної конфігурації без значних внутрішніх дефектів і забезпечують стабільність структури матеріалу після кристалізації. Окрім цього, матеріал повинен мати добру оброблюваність різанням, що особливо важливо при

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

масовому виробництві та використанні автоматизованих ліній механічної обробки.

Не менш суттєвим фактором є економічна складова – відносно невисока вартість самого СЧ та його компонентів, що впливає на загальну собівартість виготовлення деталі.

Враховуючи наведені вимоги, для визначення найбільш доцільної марки СЧ необхідно провести порівняльний аналіз матеріалів СЧ15, СЧ18 та СЧ20 за їх хімічним складом, механічними характеристиками та технологічними властивостями. Це дозволить обґрунтовано вибрати оптимальний варіант для конкретних умов експлуатації картера маховика.

Сірі чавуни - це складні багатокомпонентні сплави, основними елементами яких є Fe, C, Si та Mn, а також невеликі домішки S та P. У незначних кількостях у структуру чавуну також можуть потрапляти легувальні елементи з руди, такі як Cr, Ni та Cu, які певною мірою впливають на його властивості.

Для довговічності та надійності картер маховика повинен володіти механічними та технологічними властивостями матеріалу, з якого виготовлена дана деталь. Саме від цих характеристик залежить здатність картера витримувати експлуатаційні навантаження, протистояти зношуванню, деформаціям і втомному руйнуванню в умовах тривалої роботи.

Крім того, важливу роль відіграють технологічні властивості матеріалу, такі як ливарні характеристики, оброблюваність різанням та здатність до термічної обробки, оскільки вони впливають не лише на процес виготовлення, але й на кінцеву якість виробу.

Для об'єктивної оцінки придатності різних марок чавуну використовують їх механічні характеристики, що визначаються при різних видах навантаження – стисканні, розтягуванні, згині та крученнях. Відповідні значення цих показників наведені в табл. 2.1, що дозволяє провести порівняльний аналіз матеріалів і обґрунтовано обрати найбільш ефективний варіант для виготовлення картера маховика. Отже, у табл. 2.1 наведено хімічний склад сірих чавунів, вживаних для виготовлення картера маховика [8-10].

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – Хімічний склад рекомендованих сірих чавунів для виготовлення картера маховика

Марка чавуну	Масова доля елементів				
	C	Si	Mn	P	S
СЧ 15	3,5-3,7	2,0-2,4	0,5-0,8	0,2	0,15
СЧ 18	3,4-3,6	1,9-2,3	0,5-0,7	0,2	0,15
СЧ 20	3,3-3,5	1,4-2,2	0,7-1,0	0,2	0,15

Для різних марок сірого чавуну характерні відмінності в хімічному складі. Так, у чавуні СЧ15 вміст С становить приблизно (3,5-3,7) %, а Si – (2,0-2,4)%. У марці СЧ18 ці показники дещо нижчі: С (3,4-3,5) %, Si (1,4-2,2) %, що впливає на його структуру та властивості. Ще нижчий вміст Si характерний для СЧ20, де С знаходиться в межах (3,3-3,5) %, а Si – (1,4-2,2) %. При цьому у СЧ20 вміст Mn становить до 1 %, що підвищує його міцнісні характеристики.

Міцнісні властивості СЧ, зокрема, σ_b , σ_c , τ_b та σ_u , безпосередньо визначаються особливостями його структури. У свою чергу, структура СЧ формується під впливом хімічного складу сплаву та умов його охолодження у ливарній формі. Вміст основних елементів, таких як С і Si, а також швидкість кристалізації суттєво впливають на характер утворення Gr фази та металевої матриці.

Таким чином, зміна хімічного складу або технологічних умов лиття призводить до відповідних структурних змін, що безпосередньо відображається на рівні міцності, пластичності та загальних експлуатаційних властивостях СЧ.

У табл. 2.2 наведено механічні властивості сірих чавунів, вживаних для виготовлення картера маховика [9-11].

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Механічні властивості рекомендованих сірих чавунів для виготовлення картера маховика

Марка чавуну	При розтягуванні				
	σ_B , МПа	НВ	$E \cdot 10^{-3}$, МПа	δ , %	σ_{-1} , МПа
СЧ 15	117	163-229	70	0,2-1,0	60
СЧ 18	176	170-241	80	0,2-1,0	70
СЧ 20	196	170-241	85	0,4-0,6	90
Марка чавуну	При стискуванні			При крученні	
	σ_C , МПа	φ , %	σ_{-1C} , МПа	τ_e , МПа	τ_{-1} , МПа
СЧ 15	600	40	80	280	70
СЧ 18	800	35	90	300	80
СЧ 20	850	30	120	300	100
Марка чавуну	При вигинанні		КСУ, Дж/см ³	φ , % при вібрації під навантаженням	
	σ_{-u} , МПа	σ_{-1u} , МПа			
СЧ 15	300	62	60	30-32	
СЧ 18	360	66	50	30-33	
СЧ 20	400	67	40	30	

Такі показники, як σ_B , КСУ та довготривала міцність, залежать не лише від самої металевої матриці, але й від особливостей Gr фази. Зокрема, істотний вплив мають форма, розміри та кількість Gr включень, які порушують суцільність металевої основи та можуть виступати концентраторами напружень. Чим більш сприятливою є форма Gr та рівномірнішим його розподіл, тим вищими є експлуатаційні та міцнісні властивості сірого чавуну.

У свою чергу, міцність СЧ значною мірою залежить від характеру прикладеного навантаження. При розтягуванні межа міцності σ_B має найменші значення, оскільки Gr включення послаблюють опір матеріалу в цьому напрямку (див. табл. 2.2). Найвищі показники міцності СЧ демонструють при стисканні, де структура матеріалу працює найбільш ефективно.

За умов τ_B та σ_{-1} значення міцності є нижчими, ніж при стисканні, однак вони перевищують показники, характерні для розтягувальних навантажень. Таким

					КВРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

чином, характер навантаження суттєво впливає на експлуатаційну поведінку матеріалу.

Втомна міцність чавуну оцінюється за межами витривалості (σ_{-1} , τ_{-1} , σ_{-1C}), значення яких для різних видів навантаження є відносно близькими. Саме ці показники визначають опір матеріалу до циклічних навантажень і є ключовими для оцінки довговічності картера маховика. Зокрема, від рівня межі витривалості безпосередньо залежить ресурс роботи картера та його здатність зберігати працездатність протягом тривалого терміну експлуатації.

Характер прикладеного навантаження та напружений стан матеріалу істотно впливають на пластичні властивості феритних СЧ марок СЧ15 і СЧ18: при стисканні спостерігаються найбільш високі значення відносної пластичності (ϕ), що пояснюється сприятливішими умовами деформації металевої матриці. У випадку кручення та згинання пластичні властивості знижуються, оскільки напруження розподіляються нерівномірно по перерізу картеру маховика та зростає вплив концентраторів напружень.

Найменші значення пластичності характерні для розтягувальних навантажень, де δ знаходиться в межах приблизно (0,2–1,0) %, що свідчить про обмежену здатність матеріалу до пластичної деформації в таких умовах. Таким чином, поведінка феритних чавунів суттєво варіюється залежно від виду навантаження, що необхідно враховувати при їх застосуванні в конструкціях.

Необхідна робота для зародження і подальшого поширення тріщини визначається ударною в'язкістю, яка характеризує схильність матеріалу до крихкого руйнування: чим вище значення КСУ, тим менша ймовірність раптового крихкого руйнування картера маховика під час експлуатації.

Для СЧ цей показник безпосередньо пов'язаний із його пластичними властивостями: зі збільшенням пластичності матеріалу підвищується його здатність до поглинання енергії ударного навантаження, що, у свою чергу, позитивно впливає на ударну в'язкість і загальну надійність роботи виробу в умовах динамічних навантажень.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Структура металевої основи СЧ впливає на його твердість, оскільки саме вона формує опір матеріалу до пластичної деформації при локальних навантаженнях: чим більше зміцнена та однорідна металева матриця, тим вищими є показники твердості СЧ.

Водночас модуль пружності значною мірою залежить від наявності та характеру Gr включень у структурі. Gr, як неметалева фаза, знижує жорсткість матеріалу, впливаючи на його здатність до пружної деформації під навантаженням. Таким чином, саме співвідношення металевої основи та Gr фази визначає пружні властивості чавуну в цілому.

У свою чергу, густина та теплові характеристики СЧ залежать від хімічного складу та структурної будови матеріалу, яка визначається маркою чавуну (див. табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Фізичні властивості СЧ, вживаних для виготовлення картера маховика

Марка чавуну	γ , г/см ³	$\alpha_{20}^{100} \cdot 10^6$, 1/°C	λ_{20}^{100} , калл/(см•с•°C)	c_{20}^{100} , Дж/кг•°C	t_l , °C
СЧ 15	7,0	10-11	0,11-0,13	586-628	1160-1200
СЧ 18	7,2	10-11	0,11-0,13	586-628	1160-1200
СЧ 20	7,0-7,2	10-11	0,10-0,12	586-628	1200-1240

Найменшу густину має чавун марки СЧ15, тоді як найбільші значення спостерігаються у СЧ20. Це пояснюється зміною вмісту С та кількості Gr фази: у СЧ20 зменшується загальний вміст С та Gr, що призводить до щільнішої металевої основи і, відповідно, до зміни фізичних властивостей матеріалу.

У рідкому стані густину СЧ можна орієнтовно приймати в межах $\gamma = (6,7-7,1)$ г/см³, що використовується при технологічних розрахунках лиття та проектуванні ливарних процесів [12, 13].

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Вплив хімічного складу та структури СЧ на його фізико-механічні та технологічні характеристики

Хімічний склад та структурна будова СЧ впливають на значення його (σ), (λ) і (α). Однак, основним фактором, який визначає зміну цих фізичних властивостей, є температура експлуатації матеріалу: з підвищенням температури (α) та (σ) поступово зростають, що пов'язано зі збільшенням інтенсивності теплових коливань атомів у структурі матеріалу. Водночас (λ) зменшується, оскільки порушується ефективність передачі теплової енергії через металеву матрицю та Gr фазу.

Таким чином, температурні умови є визначальними для теплових характеристик СЧ і суттєво впливають на його поведінку в процесі експлуатації.

Відносно корозійної стійкості СЧ, то спостерігається її підвищення зі зменшенням розмірів Gr включень та зниженням їх кількості, а також за умови формування однорідної (однофазної) структури металевої матриці. Додатково позитивний вплив має зменшення вмісту P, Si та S, оскільки ці елементи можуть погіршувати загальні захисні властивості матеріалу.

Швидкість корозійного руйнування СЧ в різних середовищах змінюється наступним чином: у чистій атмосфері вона становить приблизно 0,025 мм/рік, у міських умовах – близько 0,125 мм/рік, у водному середовищі – менше 0,125 мм/рік, а в ґрунті може досягати (0,13-0,60) мм/рік залежно від його агресивності.

Термостійкість СЧ визначається комплексом механічних і теплофізичних властивостей, зокрема міцністю, теплопровідністю та коефіцієнтом лінійного розширення. Чим вищі значення α , δ та σ_v , і водночас нижчий E) тим більшою є термостійкість матеріалу та його здатність працювати в умовах змінних температурних навантажень.

При розгляді технологічних властивостей СЧ, зокрема, його оброблюваності, то однозначною мірою визначаються його хімічним складом і структурною будовою: основним структурним фактором, який впливає на процес різання, є

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

наявність Gr фази, яка змінює характер руйнування матеріалу під час механічної обробки.

Оброблюваність СЧ має обернену залежність від його твердості за Брінеллем (НВ): зі зростанням твердості матеріал стає складнішим для різання. Водночас присутність Gr позитивно впливає на процес обробки, оскільки він сприяє утворенню більш крихкої структури, зменшує сили різання та знижує навантаження на ріжучий інструмент, покращуючи умови його роботи.

Оцінка оброблюваності здійснюється за стійкістю інструменту або за еквівалентною швидкістю різання. Так, при твердості 150 НВ $V_{\text{екв}} = 1,0$; при 180 НВ – $V_{\text{екв}} = 0,65$; а при 200 НВ – $V_{\text{екв}} = 0,55$. Це свідчить про поступове зниження оброблюваності зі збільшенням твердості чавуну, що необхідно враховувати при виборі режимів механічної обробки.

Рідкотекучість СЧ, яка визначає здатність розплаву заповнювати форму, характеризує його ливарні властивості: даний показник зазвичай оцінюється за результатами спіральної проби, яка виконується шляхом лиття в піщану форму. Рідкотекучість (λ_p) зростає, коли збільшується вуглецевий потенціал сплаву та підвищенням температури заливання, оскільки це сприяє зменшенню в'язкості розплаву та покращує його текучість. Водночас встановлено, що чим нижча марка чавуну та вищий вміст Р, тим більшим є λ_p .

Підвищена рідкотекучість позитивно впливає на якість литих виробів, оскільки зменшує ймовірність утворення дефектів, таких як неспаї, газові раковини та усадкова пористість. Таким чином, оптимальні ливарні властивості є важливою умовою отримання якісних виливків складної конфігурації.

Gr включення формують структурні особливості та поведінку під навантаженням СЧ. Наявність пластинчастого Gr зумовлює специфічний характер руйнування матеріалу та знижує його чутливість до концентрації напружень у місцях надрізів і дефектів поверхні.

Завдяки цьому СЧ набуває відносно високої здатності протистояти втомному руйнуванню, що дозволяє йому в окремих випадках конкурувати з міцнішими сталями за показниками межі витривалості та опору циклічним навантаженням.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, Gr фаза відіграє важливу роль у формуванні експлуатаційних характеристик СЧ та його поведінки в умовах тривалої роботи.

Gr включення також суттєво впливають на міцність СЧ при згинальних навантаженнях. Через наявність значної кількості мікронадрізів у металевій основі, які утворюються Gr фазою, структура матеріалу набуває підвищеної здатності до розсіювання енергії деформації. У результаті СЧ характеризується доброю демпфувальною здатністю, яка зростає зі збільшенням кількості Gr включень.

Крім того, С, який знаходиться у вигляді Gr, має істотний вплив на поведінку картера маховика в умовах тертя: Gr фаза сприяє зміні характеру контакту поверхонь, зменшує коефіцієнт тертя та впливає на інтенсивність зношування. Таким чином, структура СЧ безпосередньо визначає експлуатаційні властивості картера, зокрема його зносостійкість і довговічність.

Регулювання вмісту основних елементів, насамперед С та Si, визначають показники міцності та твердості СЧ: саме сумарна кількість цих елементів значною мірою визначає формування структури СЧ та його експлуатаційні властивості.

Вуглець і Si сприяють процесу графітизації, тобто утворенню Gr фази в структурі матеріалу. При зменшенні вмісту С кількість Gr знижується, що призводить до підвищення міцності СЧ.

Зі збільшенням частки зв'язаного С спостерігається зростання межі σ_b , НВ та Е, що свідчить про зміцнення металевої основи.

Водночас підвищення вмісту Si, незважаючи на його участь у процесі графітизації, призводить до загального зниження твердості СЧ, що необхідно враховувати при виборі оптимального хімічного складу матеріалу для конкретних умов експлуатації.

Mn підвищує міцність СЧ та зносостійкість. Водночас надмірний вміст цього елемента ускладнює процес графітизації та може сприяти відбілюванню СЧ, що призводить до утворення більш крихких структурних складових.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

S, навпаки, є шкідливою домішкою, яка погіршує як механічні, так і ливарні властивості СЧ. Її наявність знижує загальну якість чавуну та підвищує схильність до утворення тріщин, особливо в умовах експлуатації під навантаженням і при термічних впливах.

2.4 Вибір марки СЧ для виготовлення картера маховика

Таким чином, при врахуванні хімічного складу, а також механічних, технологічних та фізичних властивостей, можна зробити висновок, що чавун марки СЧ15 містить дещо більший вміст С та Si порівняно з марками СЧ18 і СЧ20. У зв'язку з цим його структура більшою мірою графітізована, що безпосередньо впливає на рівень міцності матеріалу.

Зокрема, міцність СЧ15 є нижчою, ніж у СЧ18 та СЧ20, проте він має кращі ливарні властивості, а саме вищу рідкотекучість, що забезпечує більш легке заповнення ливарних форм складної конфігурації.

Крім того, СЧ15 характеризується підвищеною пластичністю при стисканні та більш високими показниками ударної в'язкості, що позитивно впливає на його поведінку при динамічних навантаженнях. Водночас, через нижчу твердість феритного СЧ, його зносостійкість є меншою порівняно з СЧ18 і СЧ20, що обмежує його застосування в умовах інтенсивного тертя.

Межі міцності при крученнях, показники твердості та значення пластичності за умов вібраційного навантаження сірі чавуни марок СЧ18 і СЧ20 мають приблизно однакові значення. Це свідчить про схожий рівень їх базових механічних характеристик у стандартних умовах експлуатації.

Водночас чавун СЧ18 відзначається сприятливішим комплексом властивостей, зокрема, підвищеною пластичністю при стисканні ($\varphi \approx 35,0\%$) та достатньо високими показниками втомної міцності: $\sigma_{-1u} \approx 66,0$ МПа, $\sigma_{-1} \approx 70,0$ МПа, $\tau_{-1} \approx 80,0$ МПа та $\sigma_{-1C} \approx 90,0$ МПа. Це забезпечує йому кращу поведінку при циклічних і змінних навантаженнях.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Що стосується зносостійкості, то чавуни СЧ18 і СЧ20 мають приблизно однаковий рівень цього показника. Однак СЧ20 характеризується більшою крихкістю порівняно зі СЧ18 і СЧ15, що підтверджується його нижчою ударною в'язкістю ($KCU \approx 40,0 \text{ Дж/м}^2$). Це обмежує його застосування в умовах динамічних і ударних навантажень, де важлива здатність матеріалу поглинати енергію без руйнування.

Демпфуюча здатність СЧ є важливою експлуатаційною характеристикою, яка визначає його здатність поглинати та розсіювати енергію вібрацій і динамічних навантажень. Для марок СЧ15 і СЧ18 цей показник є приблизно однаковим і вищим, ніж у СЧ20. Це пояснюється особливостями їх структурної будови та характером Gr включень, які сприяють ефективнішому гасінню коливань у матеріалі. У чавуні СЧ20 демпфуюча здатність дещо нижча, що пов'язано зі змінами в структурі та менш сприятливими умовами для розсіювання вібраційної енергії. Таким чином, за критерієм вібродемпфування більш ефективними є СЧ15 і СЧ18.

Так як картера маховика у процесі роботи зазнає переважно статичних навантажень, можна рекомендувати для його виготовлення СЧ18: даний матеріал поєднує в собі раціональний комплекс міцнісних, технологічних та експлуатаційних властивостей, що забезпечує надійність і тривалий ресурс роботи деталі.

Крім цього, виливки з СЧ18 характеризуються відносно невисокою собівартістю при достатньо високій несучій здатності, що дозволяє ефективно сприймати значні статичні навантаження без втрати працездатності. Крім того, цей матеріал має добрі ливарні властивості, що сприяє отриманню якісних виливків складної форми з мінімальною кількістю дефектів.

Важливою перевагою СЧ18 є також його задовільна оброблюваність різанням, що полегшує подальшу механічну обробку деталей і знижує витрати на виробництво. Виливки картера маховика із цього чавуну характеризуються низькою схильністю до короблення та утворення тріщин під час охолодження та експлуатації.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Наявність у структурі СЧ18 вільного С у вигляді пластинчастого Gr позитивно впливає на експлуатаційні властивості матеріалу, забезпечуючи добру демпфувальну здатність і стабільну роботу в умовах навантаження, що в цілому підвищує надійність і довговічність картера.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 Розробка технологічного процесу термічної обробки картера маховика ДВЗ Д-144

Заготовку картера маховика виготовляють литтям у піщані форми, що дозволяє отримувати деталі складної конфігурації з відносно невисокою собівартістю. Після завершення процесу кристалізації та охолодження виливок витягують з опок і виконують комплекс операцій первинної обробки, до яких належать очищення, обрубка та зачистка поверхні [14-16].

Очищення виливків проводиться абразивним та сколювальним потоком дробу, який спрямовується на поверхню деталі. У результаті цього видаляється пригар, окалина та інші окисні нашарування, що утворилися під час лиття.

Обрубка виливків найчастіше здійснюється методом повітряно-дугового різання, який є одним із найбільш поширених способів обробки чавунних відливок завдяки своїй ефективності та продуктивності.

Зачистку поверхонь виконують різними методами залежно від вимог до якості: шліфувальними кругами (абразивна обробка), металевими інструментами за рахунок тертя, а також електроконтактним способом із підведенням електричного струму. Такий комплекс операцій забезпечує отримання якісної поверхні вилівка, придатної для подальшої механічної обробки.

Під час твердіння та подальшого охолодження у виливку формуються внутрішні напруження, які за своєю природою поділяються на температурні, механічні та фазові. Кожен із цих типів напружень виникає під впливом різних фізико-металургійних процесів, що відбуваються під час кристалізації та охолодження металу. При цьому частина напружень має тимчасовий характер і зникає після вирівнювання температурного поля, тоді як інша частина залишається у вигляді залишкових напружень у структурі відливки.

Наявність таких внутрішніх напружень є однією з основних причин утворення дефектів у литих деталях, зокрема гарячих і холодних тріщин, а також викривлення геометрії виливків. Це негативно впливає на якість виробу та може вимагати додаткової механічної обробки або бракування деталі.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Внаслідок утруднення або повного обмеження усадки металу з боку ливарної форми чи стрижня у виливках виникають механічні напруження. Під час твердіння та подальшого охолодження матеріал прагне зменшити свій об'єм, однак опір з боку форми створює додаткові внутрішні напруження в тілі відливки.

Термічні напруження формуються через нерівномірний розподіл температури по перерізу вилівка. Така неоднорідність нагріву та охолодження безпосередньо пов'язана з геометричною формою деталі, різною товщиною стінок і швидкістю тепловідведення в окремих зонах. У результаті різниці температур виникають внутрішні напруження, що можуть впливати на якість і стабільність форми вилівка.

СЧ під час охолодження зазнає структурних або фазових перетворень внаслідок напружень і деформацій. У СЧ такі явища найчастіше пов'язані з перлітним перетворенням, при якому об'єм металу, що охолоджується, збільшується, що призводить до виникнення додаткових внутрішніх напружень у матеріалі. Також у СЧ значну роль відіграє різниця коефіцієнтів термічного розширення G_r та металевої основи. Під час охолодження ці структурні компоненти деформуються неоднаково, що викликає появу внутрішніх структурних напружень у виливку. Такі процеси можуть впливати на стабільність форми та загальну якість литої деталі.

Відносно залишкових напружень, то їх наявність у виливках залежить від геометричної конфігурації картера маховика, технології його заливання, а також умов подальшого охолодження. При цьому зі зростанням міцності матеріалу, як правило, збільшується і рівень залишкових напружень, що накопичуються у структурі відливки.

При цьому стабілізація розмірів та підвищення експлуатаційної надійності виливків досягається переважно шляхом термічної обробки — відпалу при температурах $t = (500-600) \text{ }^\circ\text{C}$. Саме цей режим забезпечує ефективне зняття внутрішніх напружень без погіршення основних механічних властивостей матеріалу.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інші методи стабілізації розмірів, такі як силове навантаження, природне витримування (вилежування) або відпал при температурі близько $t = 200$ °С, практично не впливають на рівень міцності і не забезпечують суттєвого зниження залишкових напружень.

Відпал при температурі $t = (500-600)$ °С виконують у печах СНО–3.5.3/12,5 і він полягає у поступовому нагріванні виливків до заданого температурного режиму, витримці при цій температурі протягом певного часу, а також подальшому повільному охолодженні разом із піччю.

Стабілізація розмірів картера маховика у цьому випадку досягається насамперед за рахунок значного зниження рівня залишкових внутрішніх напружень, які накопичилися у виливку в процесі його твердіння та первинного охолодження. Усунення цих напружень дозволяє зменшити деформації та підвищити геометричну стабільність готових виливок у процесі подальшої експлуатації.

Відносно швидкості нагрівання, то її підбирають так можливою, однак вона обмежується ризиком руйнування виливків під дією термічних напружень, які накладаються на вже наявні $\sigma_{\text{зал}}$ у структурі виливки.

З метою запобігання утворенню тріщин та деформацій процес нагрівання здійснюють у контрольованому режимі зі швидкістю приблизно від $v = (50-150)$ °С/год. Такий діапазон дозволяє забезпечити рівномірний прогрів картера маховика та мінімізувати небезпечні перепади температур у його об'ємі.

Температуру відпалу призначають так допустимою з урахуванням умови, щоб після термічної обробки не знижувалась твердість СЧ та погіршувались його основні механічні властивості.

Тривалість витримки при температурі відпалу становить $\tau = (2-4)$ год. Відхилення як у менший, так і у більший бік негативно впливає на процес стабілізації розмірів виливків і може знизити ефективність зняття внутрішніх напружень.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відлік часу витримки починається з моменту прогрівання найбільш масивних ділянок виливки до заданої температури. При цьому загальна тривалість нагріву залежить від ряду факторів, таких як тип печі, геометрична конфігурація деталей, їх розташування у робочому просторі печі, а також умов теплопередачі. У зв'язку з цим точні параметри нагріву зазвичай визначаються експериментальним шляхом для конкретних виробничих умов.

Охолодження виливків проводять до температури приблизно $t = 350$ °С повільно, щоб уникнути виникнення додаткових внутрішніх напружень у структурі матеріалу. Різкі температурні перепади на цьому етапі можуть призвести до деформацій і появи залишкових напружень.

У температурному інтервалі $t = (600-350)$ °С потрібно підтримувати швидкість охолодження на рівні $v = (30-60)$ °С/год., що забезпечує поступове вирівнювання температурного поля по перерізу виливка.

Далі, в інтервалі $t = (350-200)$ °С, швидкість охолодження повинна бути знижена до приблизно $v = 30$ °С/год. для мінімізації викривлення (короблення) виливок і підвищення їх розмірної стабільності.

Після зниження температури $< t = 200$ °С режим охолодження вже не має суттєвого впливу на формування залишкових напружень, тому допускається будь-яка швидкість охолодження.

На рис. 3.1 наведений графік відпалу виливка картера маховика.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

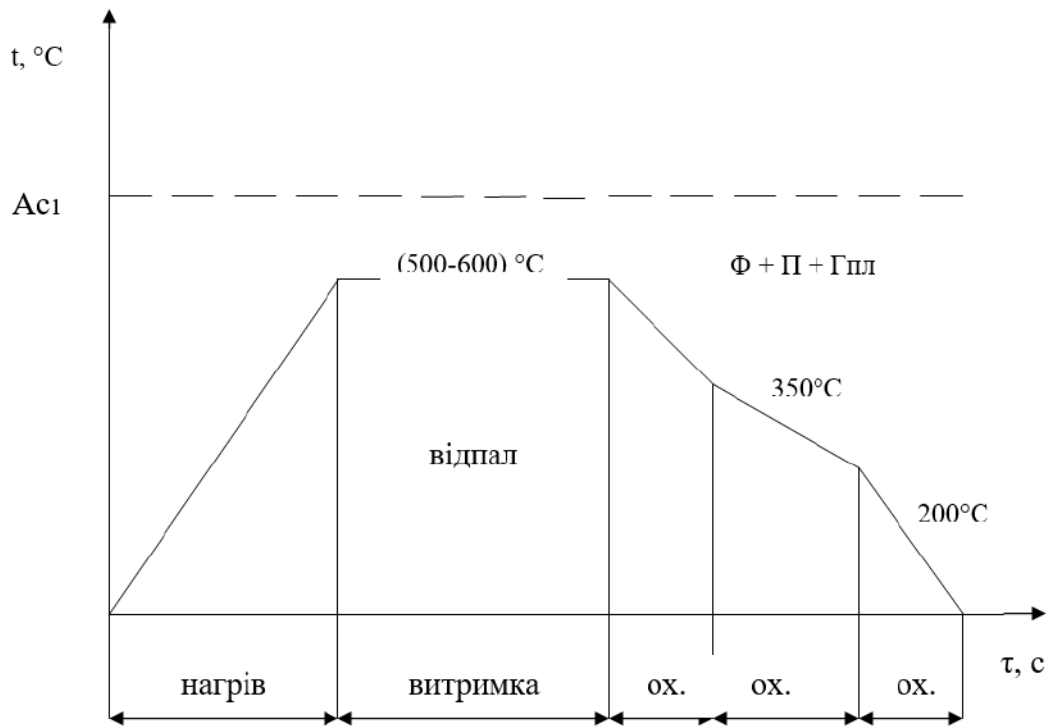
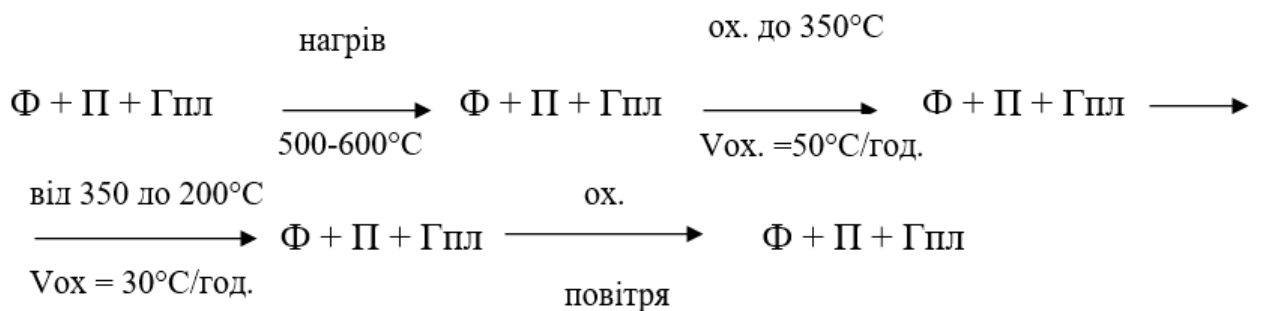
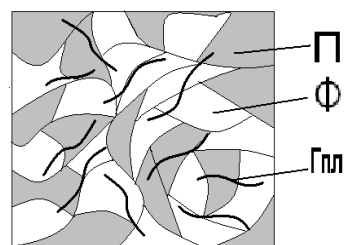


Рисунок 3.1 - Графік відпалу виливка картера маховика

Структурні перетворення при відпалі СЧ18 наступні:



На рис. 3.2 наведена схема мікроструктури СЧ18 після відпалу.



x 600

Рисунок 3.2 – Мікроструктура Φ + Π + Гпл (Ферит + Перліт + Глобулярний графіт)

На різних етапах лиття та охолодження виливках із СЧ18 виникають різні види дефектів. До основних відносять усадкові дефекти, поверхневі

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пошкодження, а також сторонні включення в структуру металу. Крім того, можливі порушення суцільності матеріалу у вигляді розривів металевої матриці, утворення напливів, а також викривлення форми та відхилення розмірів від заданих кресленням параметрів. У деяких випадках спостерігається також невідповідність механічних властивостей, структури або хімічного складу встановленим вимогам, що негативно впливає на якість і експлуатаційну надійність готових деталей.

Концентровані раковини, макро- та мікропористість, а також усадкові дефекти виникають у результаті об'ємних змін металу під час його твердіння. Причиною їх утворення є процес усадки сплаву, тобто зменшення його об'єму при переході з рідкого стану в твердий. Якщо живлення металу в окремих зонах вилівка є недостатнім, у цих місцях формуються порожнини та дефекти суцільності, що негативно впливають на якість і міцність готової деталі.

До поверхневих дефектів відносять:

- шар формувального матеріалу, який залишається на поверхні вилівка, складчастість поверхні (нагар);
- сітчасту пористість, яка проявляється у вигляді витягнутих раковин із відносно гладкими стінками.

До групи включень належать шлакові включення, що є неметалевими домішками, які потрапляють у структуру вилівка в процесі лиття. Також можливою є наявність у вилівках частинок чавуну, які відрізняються за складом і структурою від основної металевої матриці. Окремо виділяють чорні плями – неметалеві включення, які переважно спостерігаються на горизонтальних поверхнях та у верхніх частинах вилівоків, де умови формування металу є менш стабільними.

До дефектів порушення суцільності металу відносять холодні, гарячі та термічні тріщини. Їх утворення пов'язане з виникненням значних внутрішніх напружень у вилівку, які з'являються внаслідок нерівномірного розподілу температур у різних його частинах.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Особливо часто такі дефекти виникають при швидкому охолодженні після вибивання виливків з форми, коли окремі ділянки деталі охолоджуються з різною інтенсивністю. Це призводить до виникнення температурних градієнтів, які перевищують міцність матеріалу, і, як наслідок, до утворення тріщин різного типу.

До напливів відносять, обвали, заливи, підриви, одутість, задирки та обжими, які утворюються внаслідок порушень технологічного процесу лиття та умов формування виливка. Вони найчастіше виникають при недоливі металу, коли форма заповнюється неповністю і геометрія виробу не відповідає кресленню.

Короблення (деформація) з'являється через виникнення значних внутрішніх напружень у виливку під час охолодження, що призводить до викривлення його форми. Перекіс деталей є наслідком неточного складання модельного комплексу, яке викликає зміщення елементів форми відносно заданого положення.

Відбілювання характеризується утворенням структури білого чавуну та пов'язане з підвищеним вмістом С і Si в поєднанні з умовами швидкого охолодження, що змінює характер кристалізації металу.

3.1 Призначення обладнання для термічної обробки картера маховика

Виливки картера маховика очищують дробом, тобто використовують абразивну та сколювальну дію потоку дроби на поверхневий шар, який зазвичай покритий окалиною та пригаром. У результаті такого впливу відбувається ефективно видалення забруднень із поверхні деталі [17-19].

Для виконання цієї операції застосовують дробоструминну очистку, яка є одним із найпоширеніших способів механічного очищення литих заготовок. У технологічному процесі використовують дробоструминні апарати, зокрема моделі 500S Blastrac [20]. У цих установках дроба подаються за допомогою стисненого повітря та спрямовується на поверхню виливка зі швидкістю приблизно $v = (20,0-80,0)$ м/с, що забезпечує якісне очищення та підготовку картера маховика до подальших операцій обробки.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологія очищення наступна: дроби подаються на поверхню виливки дробометним апаратом 500S Blastrac, який оснащений обертовим робочим колесом із лопатками. Дробы надходять на ці лопатки через розподільче колесо, після чого розганяється до необхідної швидкості та спрямовується на поверхню виливка, забезпечуючи її ефективне очищення від пригару та окалини.

Обрубка відливок виконується переважно методом повітряно-дугового різання або із застосуванням пневматичних обрубувальних молотків. Такі способи дозволяють швидко видаляти технологічні напливи, ливникові елементи та інші зайві частини виливка з мінімальними витратами часу та зусиль.

Зачистку виливок виконують за допомогою шліфувальних кругів, що дозволяє видалити залишки пригару, дрібні нерівності та підготувати поверхню деталі до подальших технологічних операцій. Після завершення зачистки виливка надходить у конвеєрну піч опору ТЕН 24 – електродвигун опору безперервної дії, яка забезпечує рівномірний нагрів виробів [21]. Максимальна робоча температура такої печі становить $t = (750-1000) \text{ }^\circ\text{C}$. Використання даного обладнання дозволяє здійснювати термічну обробку в контрольованих умовах, підвищуючи якість і стабільність властивостей виливків.

Картери маховика завантажують на піддони, які переміщуються всередині печі за допомогою штовхача. Його рух забезпечується електродвигуном, гідравлічним або пневматичним приводом залежно від конструкції обладнання.

Запуск штовхача печі здійснюють кнопковим керуванням з боку завантажувального торця. Переміщення піддонів виконується через визначені інтервали часу, які встановлюються відповідно до загальної тривалості перебування деталей у печі та режиму термічної обробки. Така система забезпечує автоматизований і рівномірний процес нагрівання виливків.

Щоб завантажити та вивантажити печі, а також для переміщення деталей у межах ТП в термічних цехах застосовують різноманітні підйомно-транспортні засоби. До них належать як ручні, так і електричні талі, а також поворотні консольні крани. Використання такого обладнання дозволяє механізувати

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

операції з переміщення важких заготовок і виливків, підвищити продуктивність праці та забезпечити безпечні умови роботи персоналу.

Температура в печах контролюється термоелектричним методом вимірювання. Даний спосіб ґрунтується на явищі виникнення ТЕРС у місці контакту 2-х провідників з різних металів або сплавів, які утворюють термопару. Величина цієї ТЕРС залежить від матеріалу термоелектродів, температури гарячого спаю (робочого кінця термопари), а також температури холодного спаю – вільних кінців, які підключаються до вимірювального приладу, зокрема мілівольтметра. Термопара разом із мілівольтметром утворює вимірювальний пристрій – пірометр, що дозволяє контролювати високі температури в промислових печах.

Контроль якості картерів маховика після термічної обробки здійснюється безпосередньо під час їх виготовлення і після завершення всіх технологічних операцій. При цьому оцінюються структура матеріалу, твердість, а також основні механічні властивості за результатами випробувань зразків або вибірових деталей із партії. Твердість визначають шляхом вимірювання опору матеріалу вдавлюванню у нього загартованої сталеві кульки за методом Брінелля, що дозволяє отримати об'єктивну характеристику міцності поверхневого шару.

Металографічний контроль виконується 2-ма основними методами: макро- і мікроаналізом. Макроаналіз передбачає візуальне дослідження зламу або поверхні без використання збільшувальних приладів для виявлення грубих дефектів, таких як газові пори, тріщини тощо. Мікроаналіз здійснюється за допомогою оптичного або електронного мікроскопа і дозволяє детально вивчити структуру металу на мікрорівні.

Поверхневі дефекти на виливках з СЧ виявляють за допомогою капілярних методів контролю. При цьому спеціальні рідини проникають в найдрібніші тріщини та пори, які не видно неозброєним оком. Спочатку на поверхню деталі наносять забарвлену або люмінесцентну рідину, яка заповнює приховані дефекти. Після певного часу витримки надлишок рідини видаляють із поверхні, не виймаючи її з внутрішніх порожнин дефектів. Далі наноситься проявний шар –

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спеціальна фарба або порошок, який витягує залишки індикаторної рідини з дефектів на поверхню. У результаті на місцях пошкоджень з'являються чіткі контрастні сліди, що дозволяє легко виявити поверхневі тріщини та інші несучільності матеріалу.

Внутрішні дефекти у виливках виявляють за допомогою методів проникаючої радіації або акустичних методів неруйнівного контролю. Радіаційні методи базуються на проходженні рентгенівського або гамма-випромінювання через товщу матеріалу з подальшою фіксацією зображення, що дозволяє виявити внутрішні пори, тріщини та інші порушення суцільності.

Акустичні методи контролю, у свою чергу, ґрунтуються на використанні ультразвукових хвиль, які поширюються в матеріалі та відбиваються від внутрішніх дефектів, що дає змогу визначити їх наявність і розташування.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 Розробка технологічного процесу виготовлення картера маховика

4.1 Обґрунтування вибору способу отримання виливки картера маховика

Складні за формою та конфігурацією заготовки отримують шляхом заливання розплавленого металу у спеціально підготовлену форму, внутрішня порожнина якої відповідає геометрії майбутньої деталі. Такий підхід дозволяє відтворювати навіть складні контури виробів із високою точністю.

Після заповнення форми метал поступово охолоджується, переходить у твердий стан і набуває необхідної форми. У результаті цього процесу утворюється виливок, який у подальшому може піддаватися механічній або термічній обробці для досягнення заданих розмірів і властивостей.

4.2 Розрахунок припусків на механічну обробку картера маховика

Припуски на механічну обробку призначають для внутрішніх циліндричних посадочних поверхонь, а також для торцевих площин, які в подальшому підлягають точній обробці. Їх наявність необхідна для видалення дефектного поверхневого шару та забезпечення досягнення заданих розмірів і шорсткості.

Величина припусків визначається з урахуванням габаритів оброблюваної поверхні, а також її положення під час заливання металу у форму. Так, для нижніх і бокових поверхонь припуск зазвичай становить $\cong 3,0$ мм, тоді як для верхніх поверхонь його збільшують до 3,5 мм [22-24].

Збільшення припуску для верхніх зон пояснюється тим, що саме тут найбільш імовірно накопичення дефектів – неметалевих включень, газових пор та інших домішок, які піднімаються до поверхні розплаву під час кристалізації. Тому додатковий припуск дозволяє повністю видалити ці дефекти під час подальшої механічної обробки та забезпечити високу якість готової деталі.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3 Розрахунок мінімально допустимої товщини стінок виливки

Мінімальну товщину стінки, яку можна отримати при даному способі лиття, визначають насамперед рідкотекучістю металу, а також габаритними розмірами виливка. Чим краща текучість розплаву і менші розміри деталі, тим тонші стінки можуть бути сформовані без утворення дефектів.

У зв'язку з цим при проектуванні деталі обов'язково перевіряють мінімально допустиму товщину стінки виливка S . Вона залежить від узагальненого параметра N , який враховує габаритні характеристики відливки, зокрема її довжину, ширину та висоту. Такий підхід дозволяє забезпечити повне заповнення форми розплавом, уникнути недоливу, утворення холодних спаїв і інших дефектів, а також гарантує достатню міцність і технологічність майбутньої деталі.

Мінімальна товщина стінки, яка може бути отримана цим способом литва, залежить від рідкотекучості металу та габаритних розмірів виливки. Тому мінімальну товщину стінки деталі перевіряють на мінімальну допустиму товщину стінки виливки S , яка залежить від параметра N , що враховують габаритні розміри виливки:

$$N = \frac{2L+b+h}{3}, \text{ м}, \quad (4.1)$$

де L – найбільший розмір виливки;

b і h – відповідно ширина і висота виливки, м.

$$N = \frac{2 \cdot 0,275 + 0,275 + 0,080}{3} = 0,541 \text{ (м)}.$$

Приймаємо мінімальну допустиму товщину стінки виливки картера маховика $S_{\min} = 8,0$ мм (див. рис. 1.4) – [22-24] – табл. 4.1.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Найменша товщина стінок виливків

Матеріал	Категорія виливків	Найменша товщина стінок, мм
1	2	3
Сталь	дрібні	8
	середні	12
	крупні	20
Чавун сірий і високоміцний	дрібні	3...4*
	середні	6...8
	крупні	10...20

4.4 Розрахунок радіусів галтелей і заокруглень виливки

Спряження відповідних елементів моделі та стінок виливка повинні виконуватися плавними, без різких переходів, тобто із застосуванням заокруглень. Такий підхід є важливим як з технологічної, так і з експлуатаційної точки зору, оскільки різкі кути можуть спричиняти концентрацію напружень і ускладнювати процес виготовлення.

Внутрішні заокруглення кутів прийнято називати галтелями, тоді як зовнішні – звичайними заокругленнями. Наявність галтелей і заокруглень суттєво полегшує процес виймання моделі з форми, зменшує ймовірність пошкодження формувальної суміші, а також сприяє підвищенню якості готового виливка.

Крім того, правильне виконання таких переходів дозволяє знизити ризик виникнення дефектів, зокрема тріщин, внутрішніх напружень і усадкових раковин, що часто утворюються в місцях різкої зміни перерізу. Таким чином, застосування галтелей і заокруглень є важливим конструктивно-технологічним заходом, який підвищує надійність і довговічність деталей.

Розмір радіуса галтелі (або заокруглення) визначається за відповідною розрахунковою залежністю, що враховує геометричні параметри елементів деталі та умови її виготовлення:

$$r = (1/3 \dots 1/5) \cdot \frac{S_1 + S_2}{2}, \text{ мм}, \quad (4.2)$$

де S_1 і S_2 – товщина стінок виливки, які сполучаються, мм.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.5 Розрахунок формувальних ухилів

Якщо конструкція виливки не передбачає власних ухлонів, необхідних для вільного виймання моделі з форми, то призначаються формувальні уклони. Відсутність таких ухлонів може ускладнювати процес формування, призводити до пошкодження форми або самої моделі, тому їх введення є обов'язковим технологічним заходом.

На практиці застосовують три основні варіанти виконання формувальних ухлонів залежно від призначення поверхонь і конструктивних особливостей деталі:

– зі збільшенням розмірів («у плюс» – уклон формують шляхом збільшення геометричних параметрів виливка на оброблюваних поверхнях понад припуски на механічну обробку, що дозволяє зберегти необхідні розміри після подальшої обробки);

– комбінований варіант («плюс–мінус» – передбачає одночасне збільшення і зменшення розмірів на необроблюваних поверхнях, які не контактують з іншими деталями, або застосовується для стінок товщиною $h < 12,0$ мм; такий підхід забезпечує баланс між технологічністю виготовлення та точністю геометрії);

– зі зменшенням розмірів («у мінус» – використовується для необроблюваних поверхонь, які сполучаються з іншими деталями, або для стінок товщиною $h > 12$ мм; у цьому випадку зменшення розмірів компенсує можливі відхилення та полегшує складання виробу).

Правильний вибір варіанту формувального уклону забезпечує не лише легкість видалення моделі з форми, але й підвищує якість виливка, зменшує кількість дефектів і оптимізує подальші технологічні операції [22-24].

4.6 Розробка ливарного стержня

Для формування у виливках різноманітних внутрішніх порожнин, каналів та отворів, які неможливо отримати лише за рахунок зовнішньої форми,

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосовують стержні. Вони є невід’ємною частиною ливарного процесу, особливо при виготовленні складних деталей із внутрішніми елементами.

В умовах одиничного та дрібносерійного виробництва ливарні стержні виготовляють ручним способом у спеціальних стержневих ящиках. Така технологія дозволяє забезпечити гнучкість виробництва, оперативно вносити зміни в конструкцію та виготовляти стержні різної конфігурації без значних витрат на оснащення.

Для полегшення встановлення та виймання стержнів із форми на їх знакових (опорних) частинах передбачають формувальні уклони. Як правило, величина цих уклонів знаходиться в межах $(6-10)^\circ$, що забезпечує надійне формування, точність посадки стержня у формі та зменшує ризик пошкодження як самого стержня, так і формувальної суміші під час технологічних операцій.

4.7 Розрахунок маси виливки картера маховика

Маса виливки [22-24]:

$$Q = V \cdot \rho, \quad (4.3)$$

де V – об’єм, м^3 ;

ρ – густина СЧ, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Для розрахунку об’єму виливки розіб’ємо її на декілька частин циліндричної форми. Потім за формулою $V_{\text{ц}} = \pi \times R^2 \times h$ знайдемо об’єм кожної циліндричної частини і складемо усі отримані об’єми:

$$\begin{aligned} V_{\text{вил}} &= V_a + V_b + V_c = ((V_1 - V_2) + (V_3 - V_4) + (V_5 - V_6)) = \\ &= ((\pi R_1^2 h_1 - \pi R_2^2 h_2) + (\pi R_3^2 h_3 - \pi R_4^2 h_4) + (\pi R_5^2 h_5 - \pi R_6^2 h_6)) = \\ &= ((3,14 \cdot 0,1435^2 \cdot 0,0905 - 3,14 \cdot 0,125^2 \cdot 0,0905) + (3,14 \cdot 0,125^2 \cdot 0,026 - \\ &3,14 \cdot 0,0975^2 \cdot 0,026) + (3,14 \cdot 0,0975^2 \cdot 0,052 - 3,14 \cdot 0,068^2 \cdot 0,052)) = 0,0014 + 0,0005 + \\ &+ 0,00079 = 0,00269 \text{ (м}^3\text{)}; Q = 0,00269 \cdot 7300 = 19,64 \text{ (кг)}. \end{aligned}$$

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.8 Розрахунок розмірів опоки

У залежності від умов виробництва, маси виливків і вимог до міцності опоки виготовляють із різних матеріалів. Найчастіше використовують сталь, чавун та алюмінієві сплави, які забезпечують необхідну жорсткість і довговічність.

Перед вибором габаритів опоки необхідно визначити оптимальне розташування ливникової системи, оскільки від цього залежить якість заповнення форми розплавом і утворення виливка без дефектів. Далі, користуючись довідковими таблицями, встановлюють нормативні відстані між елементами моделі, складовими ливникової системи та внутрішніми стінками опоки. Це дозволяє забезпечити достатню товщину формувальної суміші та запобігти руйнуванню форми під час заливання металу.

Отримані розрахункові розміри опоки, як правило, округлюють до стандартних значень. Після цього за відповідною таблицею (наприклад, табл. 3.1) підбирають найближчі стандартні внутрішні розміри опоки, які забезпечують технологічну зручність, уніфікацію оснащення та раціональне використання матеріалів у процесі виготовлення виливків. Приймаємо, згідно рис. 1.4, [22-24]:

$$l = 460,0 \text{ мм}; b = 460,0 \text{ мм}; h = 150,0 \text{ мм},$$

де l ; b ; h — довжина, ширина і висота внутрішніх розмірів опоки.

4.9 Розрахунок елементів ливникової системи

Для підведення розплавленого металу до порожнини ливарної форми, а також для забезпечення належного живлення виливка під час його кристалізації та тверднення, застосовують ливникову систему. Від її правильного проектування значною мірою залежить якість готового картера маховика, відсутність дефектів і рівномірність структури металу.

До основних елементів ливникової системи належать:

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ливникова чаша (або воронка, яка служить для приймання розплаву та спрямування його в систему каналів, одночасно зменшуючи турбулентність потоку);
- стояк (вертикальний канал, по якому метал надходить у нижні частини форми);
- шлаковловлювач (елемент, призначений для затримання неметалевих включень і шлаків, які містяться в розплаві);
- живильник (забезпечує підведення додаткового металу до виливка під час усадки, компенсуючи об'ємні зміни при твердненні);
- випор (канал для відведення газів і повітря з порожнини форми, який запобігає утворенню раковин і пористості).

Конструктивно стінки ливникової чаші зазвичай виконують із нахилом приблизно 45° , що сприяє плавному спрямуванню металу, зменшенню турбулентності потоку та запобігає розбризкуванню. У нижній частині чаші, перед входом у стояк, передбачають спеціальне підвищення (поріжок). Воно слугує для затримання шлаку та інших неметалевих домішок, не допускаючи їх потрапляння в стояк і далі в порожнину форми.

Раціонально спроектована ливникова система сприяє рівномірному заповненню форми, зменшенню втрат металу та підвищенню загальної якості виливків.

Ливникова воронка забезпечує зручність процесу заливання, спрямовує потік у стояк і сприяє більш рівномірному надходженню металу в ливникову систему. Завдяки своїй формі воронка зменшує швидкість потоку на вході, що дозволяє знизити турбулентність і запобігти захопленню повітря. Крім того, у ній частково затримуються великі неметалеві включення, що позитивно впливає на чистоту розплаву.

Отже, ливникова воронка виконує не лише приймальну, а й стабілізуючу функцію, забезпечуючи більш якісне заповнення форми та підвищення надійності отриманих виливків.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ливниковий стояк виконують у верхній півформі, що спрощує процес заливання та сприяє кращому контролю за рухом розплаву. Для покращення умов течії металу і запобігання утворенню завихрень стояк виготовляють із невеликою конусністю, яка зазвичай не перевищує $\angle 5^\circ$. Така форма дозволяє зменшити швидкість потоку в нижній частині каналу, знизити турбулентність і запобігти підсмоктуванню повітря.

Отже, правильно спроектований ливниковий стояк забезпечує ефективну подачу металу, підвищує якість вилівка та зменшує ймовірність утворення внутрішніх дефектів.

Конструктивно шлаковловлювач має трапецієподібну форму, що сприяє зниженню швидкості руху металу та створює умови для осідання шлакових частинок. Завдяки цьому очищений метал надходить далі до живильників і в порожнину форми.

Розташовують шлаковловлювач, як правило, у верхній півформі, що полегшує його виготовлення та забезпечує ефективну роботу в процесі заливання. Таким чином, правильне проектування цього елемента дозволяє покращити якість металу у формі, зменшити кількість дефектів і підвищити надійність готових виливків.

Через живильники забезпечується остаточне заповнення форми металом із заданою швидкістю та напрямком потоку. Конструктивно їх виконують по площині роз'єму форми, переважно в нижній півформі. Таке розташування сприяє більш стабільному надходженню металу, зменшенню турбулентності потоку та покращенню умов заповнення найвіддаленіших ділянок форми.

Правильно спроектований живильник забезпечує рівномірний розподіл металу, знижує ймовірність утворення усадкових дефектів і пористості, а також позитивно впливає на загальну якість отриманого вилівка.

Випор (вентиляційний канал) призначений для відведення газів із порожнини ливарної форми під час заливання металу, а також для сприяння живленню вилівка в процесі його кристалізації та для контролю ступеня заповнення форми розплавом. Його наявність дозволяє зменшити ймовірність утворення газових

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

раковин, пористості та інших дефектів, пов'язаних із накопиченням повітря або газів у формі.

Кількість випорів визначається залежно від габаритів, складності геометрії та конструктивних особливостей виливка. Їх розташовують у найвищих точках верхньої півформи, що забезпечує найбільш ефективне видалення газів і покращує умови заповнення форми металом.

Конструктивно випор виконують із невеликою конусністю, яка не перевищує 5°. Площа його поперечного перерізу біля основи становить приблизно від 1/2 до 1/4 товщини стінки виливка, що дозволяє забезпечити достатню пропускну здатність для виходу газів без порушення цілісності форми та якості поверхні деталі.

Основне призначення прибутку полягає в компенсації об'ємної усадки розплаву, що відбувається в процесі кристалізації, завдяки чому запобігається утворенню усадкових раковин і внутрішніх пустот у самій відливці.

Крім основної живильної функції, прибуток частково виконує й допоміжні завдання, аналогічні до випора, зокрема, сприяє стабілізації процесу заповнення форми та може брати участь у відведенні газів із окремих зон ливарної порожнини. Таким чином, він працює як додатковий технологічний елемент, що покращує якість формування виливка.

Після завершення процесу тверднення прибуток, як правило, видаляється механічним способом, оскільки не є функціональною частиною готової деталі.

Якість отриманого виливка та загальний витратний коефіцієнт металу в процесі лиття суттєво залежить від ливникової системи: її конструкція впливає на характер заповнення форми, ступінь турбулентності потоку, ймовірність утворення дефектів, таких як пористість, шлакові включення або недоливи.

На початковому етапі проєктування виконується розрахунок найвужчого перерізу ливникової системи, який визначає пропускну здатність усього каналу подачі металу. Для звужувальної системи, що найбільш широко застосовується при литті в піщані форми, таким критичним елементом є живильник.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сумарна площа поперечного перерізу живильників розраховується на основі емпіричних залежностей, які враховують масу вилівка, швидкість заливання та умови заповнення форми. Використання таких розрахунків дозволяє забезпечити оптимальний режим подачі розплаву, зменшити витрати металу та підвищити якість готової деталі. Отже, сумарна площа поперечного перерізу живильників [22]:

$$\Sigma F_{\min} = \frac{Q \cdot 10^6}{\rho \tau \mu \sqrt{2g \cdot H_p}}, \text{ мм}^2; \quad (4.4)$$

де τ - тривалість заливання, с;

$\mu = 0,27 - 0,55$ – коефіцієнт витрати металу для чавунного литва;

$g = 9,83 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

H_p – розрахунковий натиск, м.

Оскільки тривалість заливки і розрахунковий статичний натиск відомі, то тривалість заливки форми:

$$\tau = k \sqrt{Q}, \quad (4.5)$$

де k – коефіцієнт, який враховує товщину стінки вилівки S , мм.

Тоді:

$$\tau = 2,2 \sqrt{19,64} = 9,70 \text{ (с)}.$$

Розрахунковий натиск залежить від розмірів вилівки, верхньої опоки розташування живильників і має бути мінімальним, але достатнім для попередження браку вилівки по недоливу:

$$H_p = (H_{\text{ст}} - h_b/2h_o) \times 10^3, \text{ м}; \quad (4.6)$$

де $H_{\text{ст}}$ – максимальний натиск, мм (висота верхньої опоки);

					КВРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

h_b – висота над рівнем живильників, мм;

h_o – повна висота виливки, мм.

$$H_p = (119,3 - 59,3/2 \cdot 91,4) \times 0,001 = 0,118 \text{ (м)}. \quad (4.7)$$

Сумарна площа живильника :

$$\Sigma F_{\min} = 19,64 \cdot 10^6 / 7,3 \cdot 10^3 \cdot 9,7 \cdot 0,4 \sqrt{2 \cdot 9,83 \cdot 0,118} = 455,95 \text{ (мм}^2\text{)}. \quad (4.8)$$

Площа кожного живильника:

$$F_{\text{жив}} = \Sigma F_{\min} / 2; \quad (4.9)$$

$$F_{\text{жив}} = 455,95 / 2 = 227,975 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Площі інших елементів ливникової системи:

$$F_{\text{ст}} : F_{\text{шл}} : F_{\text{жив}} = 1,15 : 1,1 : 1,0 \quad (4.10)$$

$$F_{\text{ст}} = F_{\text{жив}} \cdot 1,15; \quad (4.11)$$

$$F_{\text{ст}} = 227,975 \cdot 1,15 = 262,17 \text{ (мм}^2\text{)};$$

$$F_{\text{шл}} = F_{\text{жив}} \cdot 1,1; \quad (4.12)$$

$$F_{\text{шл}} = 227,975 \cdot 1,1 = 250,77 \text{ (мм}^2\text{)}.$$

Після розмірів елементів ливникової системи вибирають їх конструкцію. Ливника чаша правильної форми гальмує метал по дорозі у форму, заспокоює потоки, уловлює шлаки і сприяє виділенню газів з металу у момент заливання. Внутрішні розміри чаші встановлюються з наступних співвідношень [22-24]:

					КВРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$B = 3d_{ст};$$

$$h = 0,70 b;$$

$$l = 1,6 b_0,$$

де l , B , h – довжина, ширина і висота чаші;

$d_{ст}$ – діаметр стояка в нижній частині.

Тоді:

$$d_{ст} = \sqrt[4]{4 \cdot F_{ст} / \pi}; \quad (4.13)$$

$$d_{ст} = \sqrt[4]{4 \cdot 262,17 / 3,14} = 18,27 \text{ (мм)}.$$

$$B = 3 \cdot 18,27 = 54,81 \text{ (мм)};$$

$$h = 0,7 \cdot 54,81 = 38,367 \text{ (мм)};$$

$$l = 1,6 \cdot 54,81 = 87,696 \text{ (мм)}.$$

Перерізу живильників і шлаковловлювачів мають форму рівнобедреної трапеції:

$$h = 4,0 \text{ мм}; A = 29,0 \text{ мм}; B = 33,0 \text{ мм [23]}.$$

4.10 Визначення маси стержня і формувальної суміші

Маса стержня:

$$Q = V_1 \cdot \rho_1, \text{ кг}, \quad (4.14)$$

де V – об'єм стержня, м^3 ;

$\rho = 1700 \text{ кг/м}^3$ – щільність металу.

Для розрахунку об'єму стержня розіб'ємо його на 3 частини: 1-у циліндричну і 2-і конічних. Об'єм циліндричної частини:

$$V_{ц} = \pi R^2 h, \quad (4.15)$$

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

об'єм конічної частини:

$$V_k = \pi h/3 (R^2 + R \cdot r + r^2). \quad (4.16)$$

Після того, як знайдемо об'єми усіх частин, складемо та отримаємо об'єм стержня:

$$V_{ст} = V_a + V_b + V_c = (V_1 + V_2 + V_c) = 3,14 \cdot 0,02/3 \cdot (0,134^2 + 0,134 \cdot 0,063 + 0,063^2) + 3,14 \cdot 0,035/3 \cdot (0,134^2 + 0,134 \cdot 0,06 + 0,06^2) + 3,14 \cdot 0,134^2 \cdot 0,052 = 0,0046 \text{ (м}^3\text{)};$$

$$Q = 0,0046 \cdot 1700 = 7,82 \text{ (кг)}.$$

Масу формувальної суміші визначають, як добуток щільності формувальної суміші на різницю об'ємів опок і об'єму, який займає вилівка, стержень і ливникова система:

$$Q_4 = (V_3 - (V + V_1 + V_2)) \cdot \rho_2, \text{ кг}; \quad (4.17)$$

де – V, V_1, V_2, V_3 – об'єми вилівки стержня, ливникової системи та опок, м^3 ;

$\rho_2 = 1700 \text{ кг/м}^3$ – щільність ущільненої формувальної суміші;

Об'єм ливникової системи складається з об'ємів живильника, шлаковловлювача, стояка, ливникової чаші та випорів:

$$V_2 = 0,00078 \text{ (м}^3\text{)}.$$

$$Q_4 = (0,05 - (0,00269 + 0,0046 + 0,00078)) \cdot 1700 = 70,9 \text{ (кг)}.$$

4.11 Розрахунок режимів різання при механічній обробці вилівки картера маховика

4.11.1 Розрахунок різального інструменту

З аналізу креслення (рис. 1.1) визначено, що оброблювана поверхня – зовнішня циліндрична. Довжина обробки поверхні складає $l = 80,0 \text{ мм}$. Для

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обробки цієї поверхні вибираємо прохідний різець. Матеріал різальної частини – твердий сплав ВК 6. Геометричні параметри різальної частини різця [25-27]:

$$\gamma = 8^\circ; \alpha = 10^\circ; \lambda = 0^\circ; \varphi = (60-75)^\circ; \varphi_1 = 5 \dots 10^\circ,$$

де γ – головний передній кут, який чинить великий вплив на процес режиму різання (зі збільшенням цього кута зменшується деформація зрізаного шару, знижується сила різання і витрата потужності);

α – головний задній кут (зменшує тертя між задньою поверхнею інструменту і поверхнею різання заготовки; зменшує знос інструменту, так як збільшення кута знижує міцність різального леза);

λ – кут нахилу різального леза (впливає на напрям сходу стружки, зі збільшенням його якість обробленої поверхні погіршується а сила різання збільшується);

r – радіус при вершині різця (зменшує шорсткість обробленої поверхні);

φ – головний кут в плані (впливає на чистоту обробленої поверхні і на знос інструменту);

φ_1 – допоміжний кут в плані (впливає на шорсткість поверхні - зі зменшенням кута шорсткість поверхні зменшується при одночасному збільшенні міцності вершини різця і зниження його зносу).

4.11.2 Розрахунок подачі

Подача (s) – це технологічний параметр обробки, який характеризує величину переміщення ріжучої кромки різця у напрямку руху подачі за одиницю часу або за один оберт заготовки. Вона є одним із ключових факторів, який впливають на продуктивність обробки, якість обробленої поверхні та стійкість ріжучого інструменту.

Під час чорнової обробки величину подачі, як правило, обирають максимально можливою, виходячи з допустимих навантажень на інструмент,

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

міцності механізму подачі верстата та загальних технологічних умов різання. Такий підхід дозволяє підвищити продуктивність процесу за рахунок зняття більшого об'єму матеріалу за менший час.

Натомість при чистовій обробці вибір подачі здійснюється більш обережно і узгоджується з вимогами до точності розмірів та якості поверхні деталі. У цьому випадку пріоритетом є забезпечення необхідного класу шорсткості та геометричної точності, тому значення подачі зменшують для досягнення більш чистої обробленої поверхні.

Подача [25-27]: $s = (0,65-0,70)$ мм/об при радіусі при вершині різця $r = 1,55$ мм. Вибрана подача перевіряється за паспортними даними верстата 1А62: $s = 0,65$ мм/об.

4.11.3 Розрахунок швидкості різання

Швидкість різання [25-27]:

$$V_p = C_v \cdot K_v / T^m \cdot t^{x_v} \cdot S^{y_v}; \quad (4.18)$$

де $C_v = 243$ – коефіцієнт, який впливає на швидкість різання;

$m = 0,20$; $x_v = 0,15$, $y_v = 0,40$ – степеневі показники;

$T = 60$ хв. – стійкість інструменту;

K_v – поправочний коефіцієнт, який визначається, як добуток окремих коефіцієнтів.

Тоді:

$$K_v = K_m \cdot K_\phi \cdot K_r \cdot K_g \cdot K_l; \quad (4.19)$$

де $K_m = (190/HV)^{1,25} = (190/220)^{1,25} = 0,83$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив властивостей оброблюваного матеріалу на швидкість різання;

$K_\phi = 0,86$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив кута на швидкість різання;

					КВРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$K_r = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив радіуса при вершині $r = 2,0$ мм на швидкість різання;

$K_g = 0,97$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив перерізу різця на швидкість різання;

$K_l = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив матеріалу різальної частини на швидкість різання.

$$K_v = 0,83 \cdot 0,86 \cdot 1,0 \cdot 0,97 \cdot 1,0 = 0,692;$$

$$V_p = (243/60^{0,2} \cdot 1,1^{0,15} \cdot 0,65^{0,2}) \cdot 0,692 = 79,66 \text{ (мм/хв)}.$$

Частота обертання шпинделя:

$$n_p = 1000 \cdot V_p / \pi \cdot d, \text{ об/хв.}; \quad (4.20)$$

де $d = 80,0$ мм – діаметр оброблюваної поверхні.

Тоді:

$$n_p = 1000 \cdot 79,66 / 3,14 \cdot 80 = 317,1 \text{ об/хв.}$$

Отримана розрахункова частота обертання шпинделя коригується за паспортними даними верстата з умовою $n_g \leq n_p$; приймаємо $n_g = 305,0$ об/хв. [25].

Тоді дійсна швидкість різання:

$$V = \pi d n_g / 1000; \quad (4.21)$$

$$V = 3,14 \cdot 80 \cdot 305 / 1000 = 76,61 \text{ мм/хв.}$$

4.11.4 Розрахунок сили різання

Сила різання [25-27]:

$$P_p = C_{pz} \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^z \cdot K_p, \text{ кгс}; \quad (4.22)$$

					КВРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де C_{pz} , x , y , z – коефіцієнти [25-27];

$C_{pz} = 92,0$; $x = 1,0$; $y = 0,75$, $z = 0$;

K_p – загальний коефіцієнт;

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi} \cdot K_r \cdot K_{\gamma}; \quad (4.23)$$

де $K_{mp} = (HB/150)^{0,4} = (220/150)^{0,4} = 1,16$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив властивостей оброблюваного матеріалу на силу різання;

$K_{\varphi} = 0,92$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив кута φ на силу різання;

$K_{\gamma} = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив кута γ на силу різання;

$K_r = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив радіусу r при вершині на силу різання.

Тоді:

$$K_p = 1,16 \cdot 0,92 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,06;$$

$$P_p = 92 \cdot 0,5^1 \cdot 0,2^{0,75} \cdot 76,61^0 \cdot 1,06 = 14,58 \text{ (кГс)}.$$

4.11.5 Розрахунок потужності різання

Потужність різання [27]:

$$N_p = P_2 \cdot V_a / 60 \cdot 75 \cdot 1,36 \text{ (кВт)}; \quad (4.24)$$

$$N_p = 14,58 \cdot 76,61 / 60 \cdot 75 \cdot 1,36 = 0,18 \text{ (кВт)}.$$

Перевіряємо за потужністю верстата на шпинделі:

$$N = N_{вст} \cdot \eta, \text{ кВт}; \quad (4.25)$$

де $N_{вст} = 7,8$ кВт – потужність приводу верстата;

					КВРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\eta = 0,75$ – ККД верстата.

Тоді:

$$N = 7,8 \cdot 0,75 = 5,87 \text{ (кВт)};$$

$$5,85 > 0,18 \text{ кВт.}$$

4.11.6 Розрахунок машинного часу

Машинний час [27]:

$$T_M = L \cdot i / n \cdot S \quad (4.26)$$

де L – розрахункова довжина;

$$L = l + a + b;$$

де a – величина різання;

$$a = t \cdot \text{ctg} \varphi = 0,18;$$

b – перебіг різця;

$$d = (1-3) \text{ мм};$$

n – число оборотів шпинделя;

S – прийнята величина подачі;

$i = 9$ – число проходів.

Тоді:

$$L = 80 + 0,18 + 2 = 82,18 \text{ (мм)},$$

$$T_M = 82,18 \cdot 9 / 305 \cdot 0,65 = 3,81 \text{ (хв)}.$$

Маршрутні та операційні карти ТП виготовлення картера маховика двигуна Д-144 наведені на рис. А1-А9.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Розглянуті призначення, будова і робота складових частин ДВЗ Д-144. Представлені загальні відомості про його картер маховика, який слугує проміжною ланкою для з'єднання ДВЗ з остовом машини або трансмісійними елементами. Завдяки цьому забезпечується жорстке та надійне кріплення силового агрегату, а також точне взаємне розташування вузлів при передачі крутного моменту. Крім того, картер виконує функцію захисту внутрішніх деталей ДВЗ від механічних пошкоджень і впливу зовнішнього середовища, що підвищує довговічність та надійність роботи всього агрегату.

Наведені необхідні експлуатаційні параметри матеріалу картера маховика ДВЗ Д-144 з обґрунтуванням його вибору. Досліджений вплив хімічного складу та структури сірого чавуну на його фізико-механічні та технологічні характеристики. Для виготовлення картера маховика вибраний сірий чавун СЧ18: даний матеріал поєднує в собі раціональний комплекс міцнісних, технологічних та експлуатаційних властивостей, що забезпечує надійність і тривалий ресурс роботи деталі.

Розроблений ТП термічної обробки картера маховика з призначенням відповідного обладнання.

Обґрунтований спосіб отримання виливки картера маховика з розрахунком припусків на механічну обробку, маси виливки, розмірів опок та елементів ливникової системи. Визначена маса стержня і формувальної суміші. Розраховані режими різання при механічній обробці виливки картера маховика. Наведені маршрутні та операційні карти ТП виготовлення картера маховика.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Дизель Д144. Технічний опис та інструкція з експлуатації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://technoimpex.com.ua/image/pdf/manual/diesel_d-144_technical_description.pdf
2. Картер маховика Д144-1002312 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tractorsouz.com.ua/catalog/dvigatel-2/karter-mahovika-novogo-obrazca---110-mm-t-40-d144-1002312?srsId=AfmBOop8myfro5CUXDIhrT4pN0bnszk7wAH8qu1Zh5Kv-WkypA7jgsT1>
3. Остов двигуна Д-144 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://technoimpex.com.ua/dd-d-144/dd-d144-ostov-dvigatela/>
4. Картер маховика двигуна Д-144 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.agro-detal.com.ua/zapchasti-na-traktor-t-40/karter-makhovika-d37m-1002312-b-dizelnogo-dvigatelya-d-144.html>
5. Що таке чавун? Характеристики металу, особливості виробництва і застосування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/chto-takoe-chugun-kharakteristiki-metalla-osobennosti-proizvodstva-i-primeneniya/?srsId=AfmBOoraSEOkUxQqUJKIzZdpFpOu0YWKAIXPGfgGJLcCLqMwDk8ufFer>
6. Характеристика чавунів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://e-tk.lntu.edu.ua/pluginfile.php/24416/mod_resource/content/0/Заняття%206.pdf
7. Сірий чавун [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Сірий_чавун
8. Сірий чавун [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5056451/page:7/>
9. Сірий чавун – властивості, склад та марки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://inbound.com.ua/2023/02/sirij-chavun-vlastivosti-sklad-ta-marki/>

					КВРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Сірий чавун: особливості і сфера застосування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.0412.ua/list/247251>
11. Механічні характеристики чавуну [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5241656/page:23/>
12. Лиття з сірого чавуну [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.spironcasting.com/gray-iron-casting>
13. ДСТУ EN 1561:2010 Литво. Сірий чавун. Технічні умови (EN 1561:1997, IDT) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=54316
14. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vspkhp.lcloud.in.ua/ebook/1644>
15. Матеріалознавство в машинобудуванні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://fizmat.7mile.net/materialoznavstvo/index.html>
16. Технологія конструкційних матеріалів та матеріалознавство, розділ Матеріалознавство: Навчальний посібник / Л.Г. Бодрова, Г.М. Крамар, Я.О. Ковальчук, І.В. Коваль – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. – 157 с.
17. Матеріалознавство та технологія металів Власенко 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uabooks.top/2475-pdruchnik-materaloznnavstvo-ta-tehnologiya-metalv-vlasenko-2019-chitati-onlayn.html> <https://www.e-litera.com.ua/upload/pto/pto-materialoznavstvo.pdf>
18. Матеріалознавство та технологія матеріалів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/924/MZTM_KONSP_LEK.pdf
19. Конструкційне матеріалознавство. В.М. Гарнець, В.М. Коваленко [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.svpu-profi.lg.ua/pdf/library/materialoz_garnec.pdf
20. Дробоструйна машина по сталі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://blastrac.in.ua/ua/g3997009-ochistka-metalla>
21. Електричні печі опору [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://patriot-nrg.com/uk/content/elektrychni-pechi-oporu>

					КВРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Методичні вказівки з проектування технологічних литих деталей для студентів спеціальності “Ливарне виробництво чорних і кольорових металів і сплавів” усіх форм навчання / Уклад.: Сиропоршнев Л.М., Лютий Р.В. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 68 с.

23. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Технологія процесів ливарного виробництва». Розділ – «Лиття в піщані форми». Для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 136-«Металургія» за освітньо-професійною програмою «Ливарне виробництво чорних і кольорових металів і сплавів» /Укладач: Стороженко С.А. – Кам'янське: ДДТУ, 2019. - 81 с.

24. Технологічні процеси отримання заготовок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132/tehnologichni_procesi_otrimannya_zagotovok_dlya_s-g_mashinobuduvannya.pdf

25. Теорія різання [Електронний ресурс]: Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.

26. Теорія різання та інструмент: Навчальний посібник/ Веселовська Н.Р., Іскович-Лотоцький Р.Д., Ковальова І.М. – Вінниця: 2018. – 297 с

27. Теорія різання. Розрахунок режимів різання : практикум / Булига Ю. В., Веселовська Н. Р., Міськов В. П. – Вінниця : ВНТУ, 2019. – 67 с.

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатки

					КвРМТВА. 23108.02.07.00	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		