

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

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

«Технічне Вибір матеріалу і термічної обробки рейки кермового управління седана Daewoo Nubira III (j200)»

Рівень вищої освіти другий магістерський

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Спеціальність 132 Матеріалознавство

Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів

Шифр КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ

Виконав студент 2 курсу група МТВАм-24-1



Підпис

Антон Квасницький

Керівник к.т.н., доцент каф. ТАМ



Підпис

Олександр РУДИК

Нормоконтролер к.т.н., доцент каф. ТАМ



Підпис

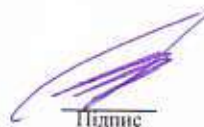
Олег МАКОВКІН

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри ТАМ

05.12.2025р

Дата



Підпис

Олександр ДИХА

Хмельницький, 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) 132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

2025 року

**З А В Д А Н Н Я**  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Квасницькому Антону Олександровичу

Прізвище, ім'я, по батькові

**1. Тема проєкту (роботи):** Вибір матеріалу і термічної обробки рейки кермового управління седана Daewoo Nubira III j200

керівник проєкту (роботи) Рудик Олександр Юхимович к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 25.08.2025 р. № 65 (Д 27)

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 01.12.2025 р.

**3. Вихідні дані до проєкту (роботи)** Матеріали практики; робочі креслення досліджуваної деталі; нормативно-технологічна документація з технології термічної обробки рейки кермового управління седана Daewoo Nubira III j200

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

1. Загальні відомості та технічні характеристики седана Daewoo Nubira III (J200) і його кермової рейки

2. Функції, перевірка технічного стану, ремонт кермової рейки седана .....

3. Вибір матеріалу та методів зміцнення рейки кермового управління седана Daewoo Nubira III (j200)

4. Моделювання напружено-деформованого стану рейки за допомогою SW Simulation

5. Технологічне планування виробничої ділянки з ремонту кермового управління седана

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Графічну частину проєкту представити у вигляді презентації на слайдах (12-15) шт.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 15 жовтня 2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Літературний огляд	30.09.2025	
2	Технологічний розділ	25.10.2025	
3	Дослідницький розділ	15.11.2025	
4	Оформлення розрахунково-пояснювальної записки	22.11.2025	
5	Оформлення презентації проєкту	1.12.2025	
6	Нормоконтроль проєкту	05.12.2025	
7	Підписання розділів. Затвердження дати захисту	05.12.2025	

Студент

  
Підпис

А.О. Квасницький  
Ініціали, прізвище

Керівник проєкту (роботи)

  
Підпис

О.Ю. Рудик  
Ініціали, прізвище

## РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 91 сторінка, кількість рисунків – 34, таблиць – 11, додатків – 2, кількість джерел згідно із переліком посилань – 26.

Студент гр. МТВАм-24-1 Квасницький Антон Олександрович.

Тема «Вибір матеріалу і термічної обробки рейки кермового управління седана Daewoo Nubira III j200».

Дана кваліфікаційна робота магістранта присвячена вибору матеріалу і термічної обробки рейки кермового управління седана Daewoo Nubira III j200.

У кваліфікаційній роботі вирішувались наступні завдання:

- навести загальні відомості та технічні характеристики, а також несправності, діагностику і ремонт деталей його кермового механізму;
- надати інформацію про функції, ознаки несправностей, причини виходу з ладу, методику діагностики, засоби уникнення поломок, ремонт рейки кермового механізму седана;
- вибрати матеріал і методи зміцнення рейки кермового управління седана і маршрутну технологію її термічної обробки з відповідним обладнанням;
- за допомогою SolidWorks Simulation провести комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану рейки після цементації та гартування;
- спроектувати виробничу ділянку з ремонту кермового управління седана.

Перелік ключових слів: DAEWOO NUBIRA III J200, КЕРМОВИЙ МЕХАНІЗМ, РЕЙКА, РЕМОНТ, ЦЕМЕНТАЦІЯ, SOLIDWORKS SIMULATION, ДІЛЬНИЦЯ.

## ЗМІСТ

Анотація .....	6
Abstract .....	7
Перелік скорочень.....	8
Вступ .....	10

### 1 Загальні відомості та технічні характеристики седана



<b>Daewoo Nubira III (J200) і його кермової рейки .....</b>	<b>11</b>
1.1 Технічні характеристики седана Daewoo Nubira III (J200) .....	11
1.2 Загальні відомості, несправності, діагностика і ремонт деталей кермового механізму .....	12

### 2 Функції, перевірка технічного стану, ремонт кермової рейки седана ....

2.1 Функції кермової рейки та її несправності.....	20
2.2 Ознаки несправностей кермової рейки.....	23
2.3 Причини виходу з ладу кермової рейки .....	24
2.4 Методика діагностики кермової рейки.....	25
2.5 Засоби уникнення поломок кермової рейки.....	26
2.6 Ремонт рейки кермового механізму .....	27

### 3 Вибір матеріалу та методів зміцнення рейки кермового управління

<b>седана Daewoo Nubira III (j200).....</b>	<b>30</b>
3.1 Призначення сталі 20ХНР .....	33
3.2 Механічні властивості сталі 20ХНР .....	33
3.3 Аналіз впливу вуглецю і легуючих елементів сталі 20ХНР на технологію її термообробки та отримані результати.....	34

КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Квасницький		
Перевір.		Рудик		
Н. Конгр.		Маковкін		
Затверд.		Диха		
<b>Вибір матеріалу і термічної обробки рейки кермового управління седана Daewoo Nubira III (j200)</b>				
		Літ.	Арк.	Акрушів
		4	87	
ХНУ гр.МТВАм-24-1				

## ЗМІСТ

Анотація .....	6
Abstract .....	7
Перелік скорочень.....	8
Вступ .....	10

### 1 Загальні відомості та технічні характеристики седана

Daewoo Nubira III (J200) і його кермової рейки .....	11
1.1 Технічні характеристики седана Daewoo Nubira III (J200) .....	11
1.2 Загальні відомості, несправності, діагностика і ремонт деталей кермового механізму .....	12

### 2 Функції, перевірка технічного стану, ремонт кермової рейки седана ....

2.1 Функції кермової рейки та її несправності .....	20
2.2 Ознаки несправностей кермової рейки.....	23
2.3 Причини виходу з ладу кермової рейки .....	24
2.4 Методика діагностики кермової рейки.....	25
2.5 Засоби уникнення поломок кермової рейки .....	26
2.6 Ремонт рейки кермового механізму.....	27

### 3 Вибір матеріалу та методів зміцнення рейки кермового управління

седана Daewoo Nubira III (j200) .....	30
3.1 Призначення сталі 20ХНР.....	33
3.2 Механічні властивості сталі 20ХНР.....	33
3.3 Аналіз впливу вуглецю і легуючих елементів сталі 20ХНР на технологію її термообробки та отримані результати .....	34

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Квасницький			<b>Вибір матеріалу і термічної обробки рейки кермового управління седана Daewoo Nubira III (j200)</b>	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Рудик					4	87
Н. Контр.		Маковкін				ХНУ гр.МТВАм-24-1		
Затверд.		Диха						

3.3.1	Маршрутна технологія виготовлення рейки .....	38
3.4	Режим операцій попередньої та остаточної термообробки сталі 20ХНР	39
3.4.1	Термічна обробка заготовок рейки.....	39
3.4.2	Цементация рейки .....	43
3.4.3	Деформація рейок при термічній обробці .....	45
3.4.4	Вибір устаткування для термічної обробки рейки.....	50
3.5	Контроль якості цементованих рейок.....	56
3.6	Види браку при цементации рейок та способи їх усунення.....	58

#### **4 Моделювання напружено-деформованого стану рейки за допомогою**

<b>SW Simulation .....</b>	<b>60</b>
4.1 Дослідження працездатності рейки після цементации .....	60
4.2 Дослідження працездатності рейки після гартування .....	67

#### **5 Технологічне планування виробничої ділянки з ремонту кермового**

<b>управління седана .....</b>	<b>69</b>
5.1 Розрахунок площі ділянки .....	70

<b>Висновки.....</b>	<b>73</b>
----------------------	-----------

<b>Список використаних джерел .....</b>	<b>76</b>
---	-----------

<b>Додатки .....</b>	<b>79</b>
----------------------	-----------

## Анотація

Кермове управління — це комплекс механізмів, які забезпечують зв'язок між кермовим колесом і керованими колесами седана. Система належить до найбільш важливих: її несправності вважають критичними для безпеки руху. Тому подано інформацію про функції, ознаки несправностей, причини виходу з ладу, методику діагностики, засоби уникнення поломок, ремонт рейки кермового механізму седана. Здійснений вибір матеріалу і термічної обробки рейки кермового управління седана. Для її відновлення розроблені технологічні процеси гартування і цементації з вибором відповідного устаткування.

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Abstract

Steering is a complex of mechanisms that provide a connection between the steering wheel and the steered wheels of a sedan. The system is one of the most important: its malfunctions are considered critical for traffic safety. Therefore, information is provided about the functions, signs of malfunctions, causes of failure, diagnostic methods, means of avoiding breakdowns, repair of the steering rack of a sedan. The material and heat treatment of the steering rack of a sedan have been selected. For its restoration, technological processes of hardening and cementation have been developed with the selection of appropriate equipment.

					КВРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Перелік скорочень

ГПК – гідравлічний підсилювач керма.

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання.

РКМ – рейка кермового механізму.

ТУ – технічні умови.

ТО – термічна обробка.

ПТО – попередня термічна обробка.

C – вуглець.

Si – кремній.

S – сірка.

Mn – марганець.

P – фосфор.

Ni – нікель.

Cr – хром.

Cu – мідь.

B – бор.

Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> – карбід хрому.

Ac<sub>1</sub> – критична точка перетворення перліту в аустеніт.

Ac<sub>3</sub> (Acm) – критична точка кінця розчинення фериту в аустеніті.

Ar<sub>3</sub> – критична точка початку виділення фериту з аустеніту.

Ar<sub>1</sub> – критична точка перетворення аустеніту в перліт.

s<sub>b</sub> – межа короточасної міцності, [МПа].

s<sub>T</sub> – межа пропорційності (межа текучості для постійної деформації), [МПа].

δ<sub>5</sub> – відносне подовження при розриві, [ % ].

ψ – відносне звуження, [ % ].

KCU – ударна в'язкість, [кДж/м<sup>2</sup>].

HB – твердість за Брінеллем, [МПа].

HV – твердість за Віккерсом, [МПа].

HRC – твердість за Роквеллом, [МПа].

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ХТО – хіміко-термічна обробка.

h – глибина.

$\tau$  – тривалість.

t – температура.

SW – SolidWorks.

SWS – SolidWorks Simulation.

MCE – метод скінченних елементів.

CE – скінченний елемент.

НДС – напружено-деформований стан.

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Вступ

**Актуальність теми.** Кермове управління седана Daewoo Nubira III j200 – це комплекс механізмів, які забезпечують зв'язок між кермовим колесом і керованими колесами. Система належить до найбільш важливих: її несправності вважають критичними для безпеки руху. Тому подано інформацію про її функції, ознаки несправностей, причини виходу з ладу, методику діагностики, засоби уникнення поломок і ремонт. Здійснений вибір матеріалу і термічної обробки рейки кермового управління седана. Для її термічної обробки розроблені технологічні процеси гартування і цементації з вибором відповідного устаткування.

**Новизна роботи.** розроблені технологічні процеси гартування і цементації рейки кермового управління седана Daewoo Nubira III j200.

**Достовірність отриманих результатів та обґрунтованість висновків і рекомендацій** забезпечена застосуванням сучасних методів досліджень, достатнім об'ємом експериментально-розрахункової частини роботи, використанням комп'ютерної техніки для розв'язання задач.

Результати досліджень були представлені на:

– *Rozwój nowoczesnej edukacji i nauki – stan, problemy, perspektywy*. Tom XVIII: *Innowacje metodologiczne w badaniach i nauczaniu: od teorii do praktyki* / [Red.: J. Grzesiak, I. Zymomrya, W. Ilnytskyj]. Konin – Użhorod – Przemyśl – Mikołajów: Poswit, 2025.

**Можливість використання висновків і рекомендацій на практиці:** застосувати запропоновані технологічні процеси термічної обробки рейки кермового управління седана Daewoo Nubira III j200.

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 Загальні відомості та технічні характеристики седана Daewoo Nubira III (J200) і його кермової рейки

## 1.1 Технічні характеристики седана Daewoo Nubira III (J200)

Седан Daewoo Nubira III (J200) проєктував колектив фахівців з Великобританії (конструкція в цілому), Німеччини (двигуни) та Італії (дизайн кузовів). Седан (рис. 1.1) має наступні технічні характеристики [1, 2]:



**Рисунок 1.1 – Седан Daewoo Nubira III (J200)**

- довжина 4495 мм, ширина 1700 мм, висота 1430 мм;
- потужність двигуна 122,0 к.с.;
- крутний момент 165/4000 Н\*м при оборотах 5800 об/хв.;
- передавальне відношення головної пари 3,722;
- тип кермового управління «шестерня-рейка»;
- максимальна швидкість 194,0 км/год.;
- час розгону (0-100 км/год.) 9,50 с;
- витрата палива у місті 9,80 л/100 км;
- витрата палива на шосе 6,20 л/100 км;
- витрата палива при змішаному циклі 7,5 л/100 км;
- об'єм паливного бака 60,0 л;
- споряджена маса седана 1210,0 кг;
- допустима повна маса 1695,0 кг.

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.2 Загальні відомості, несправності, діагностика і ремонт деталей кермового механізму

Кермове управління — це комплекс механізмів, які забезпечують зв'язок між кермовим колесом і керованими колесами седана (рис. 1.2-1.4, Б1-Б3). Система належить до найбільш важливих: її несправності, подібно до гальмівної системи, вважають критичними для безпеки руху.



**Рисунок 1.2 – Кермовий механізм седана Daewoo Nubira III (J200) [10]**

Поширені поломки кермового управління:

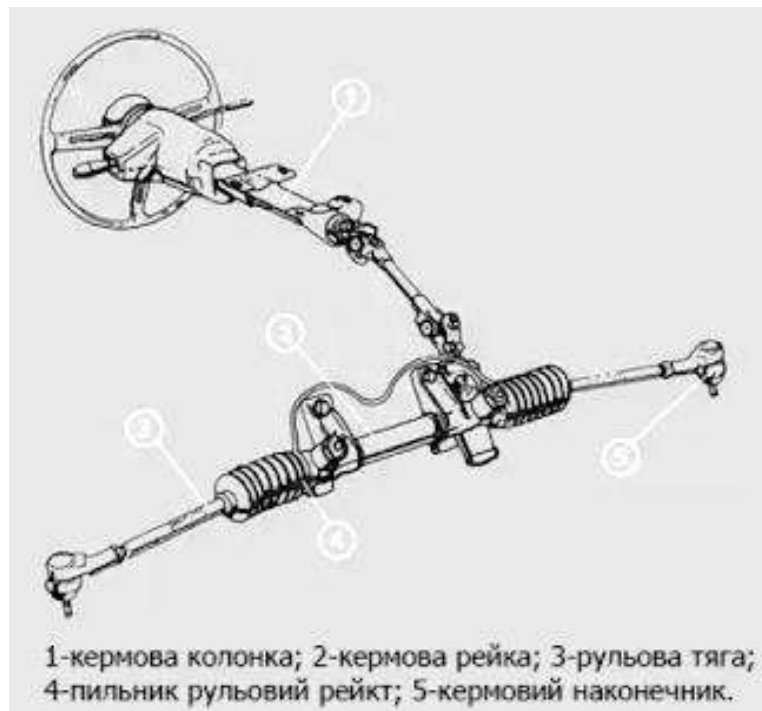
- вихід з ладу підшипника кермового валу;
- знос передавальної пари;
- знос або руйнування шарнірів наконечників кермової тяги;
- розгерметизація кермового механізму.

Основні несправності ГПК:

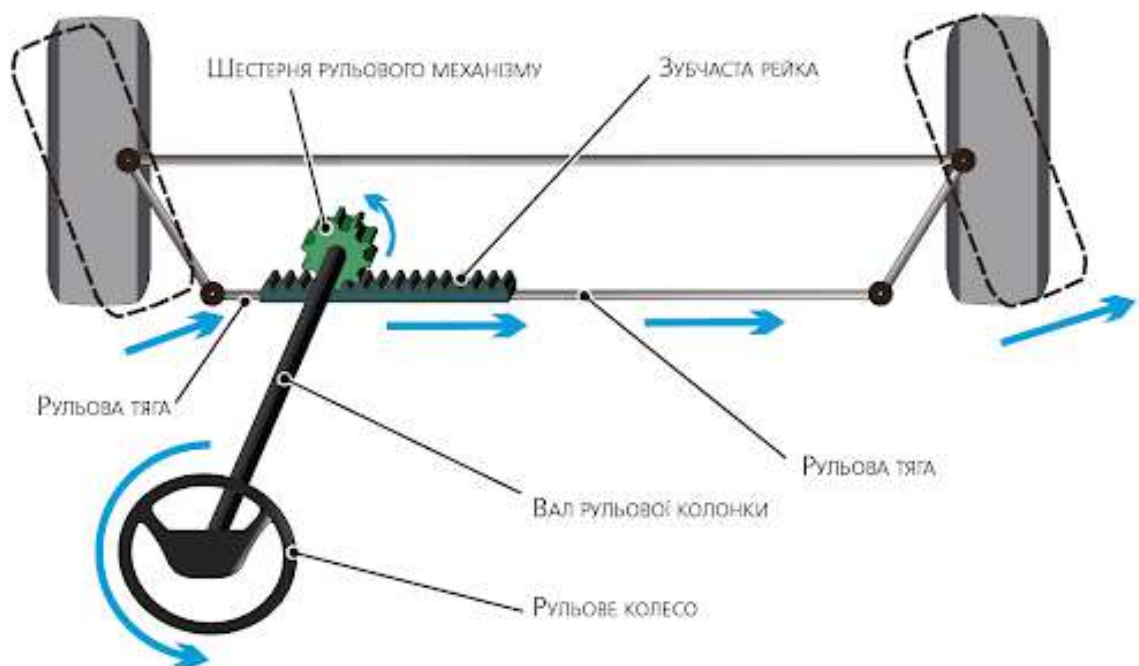
- прослизає пас приводу насоса;
- пошкоджені шланги чи ослаблене їх кріплення;
- рівень робочої рідини у бачку нижчий за норму;

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- вироблення підшипника валу насоса;
- забруднення клапана насоса чи фільтруючого елемента.



**Рисунок 1.3 – Рейкова система управління [8]**



**Рисунок 1.4 – Принципова будова механічної рейки [8]**

### Типові ознаки несправностей ГПК:

1. Зношена роторна пара / низький рівень рідини – гудіння при повороті керма.
2. Руїнування кільця плаваючої шайби → необхідність прикладати надмірну силу при повороті.
3. Підвисання витратного клапана – «туге» кермо (зникає на високій швидкості).
4. Задирки на поверхнях ротора чи корпусу – «туге» кермо + виючий звук.
5. Прослизає пас приводу – ускладнене кермування.

### Основні причини поломок кермового управління:

1. Низька якість дорожнього покриття.
2. Неналежне технічне обслуговування, дешеві рідини.
3. Природний знос деталей.
4. Некваліфікований ремонт чи обслуговування.
5. Використання шин, які не відповідають рекомендаціям (неправильний тиск, знос, дисбаланс).

### Ознаки несправності кермового управління:

- ускладнене обертання керма;
- підтікання робочих рідин (визначається по «запітнінню» елемента, а не по калюжах, як у системі охолодження);
- сторонні шуми в системі та ГПК;
- биття кермового колеса;
- надмірний люфт (великий холостий хід).

### Види ремонту кермового управління:

1. Ремонт розподільника: заміна сальників та ущільнювальних кілець, шліфування валу, гільзування корпусу.
2. Ремонт ГПК: застосування ремкомплектів (сальники високого тиску, втулки, ущільнювачі), шліфування валу.
3. Ремонт кермової рейки: відновлення валу (нарощування, хромування,

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шліфування), заміна ущільнень і втулок.

4. Капітальний ремонт кермової рейки: усі попередні операції + заміна поперечного валу, розподільника, кріплень бічного підтискувача, кермових тяг, трубок високого тиску.

Узагальнена таблиця несправностей і методів ремонту кермового управління та ГПК наведена у табл. 1.1.

**Таблиця 1.1 – Несправності та методи ремонту кермового управління та ГПК**

Несправність	Ознака	Метод ремонту
Вихід з ладу підшипника кермового валу	Люфт, шум при обертанні керма	Заміна підшипника
Знос передавальної пари	Збільшений люфт кермового колеса	Заміна або відновлення передавальної пари
Руйнування шарніра наконечника кермової тяги	Стукіт, люфт у рульовій тязі	Заміна шарніра наконечника
Розгерметизація кермового механізму	Підтікання робочої рідини, «запотівання» корпусу	Заміна сальників, ущільнень, герметизація корпусу
Прослизає пас приводу насоса ГПК	«Туге» кермо, характерний писк	Натяг або заміна паса
Пошкодження або ослаблене кріплення шлангів	Підтікання рідини, зниження рівня у бачку	Заміна шлангів або підтяжка кріплення
Низький рівень робочої рідини у бачку	Гудіння при повороті керма	Доливання рідини, перевірка герметичності
Знос підшипника валу насоса	Сторонні шуми з боку насоса	Заміна підшипника
Забруднення клапана чи фільтра	«Туге» кермо, періодичне заїдання	Очищення або заміна фільтра, клапана
Зношена роторна пара насоса	Гудіння при повороті керма	Шліфування або заміна ротора, встановлення ремкомплекту
Руйнування кільця плаваючої шайби	Велика сила при повороті керма	Заміна зношених деталей з ремкомплекту
Підвисання витратного клапана	«Туге» кермо, симптом зникає на високій швидкості	Очищення або заміна клапана
Задирки на роторі чи корпусі	«Туге» кермо + виючий звук	Шліфування, відновлення поверхонь або заміна деталей
Надмірний люфт кермового колеса	Великий холостий хід	Регулювання або заміна зношених деталей
Биття кермового колеса	Вібрація під час руху	Балансування коліс, перевірка кермових тяг і шарнірів

Для визначення ступеня зносу деталей та встановлення необхідного характеру ремонту кермовий механізм підлягає повному розбиранню на спеціальному стенді (рис. Б4). На початковому етапі демонтажу кермове колесо та сошку знімають за допомогою спеціальних знімачів.

Найбільш поширені дефекти деталей кермового механізму:

- зношування робочих поверхонь черв'яка та ролика валу сошки;
- підвищений люфт і вироблення у втулках, підшипниках та їхніх посадкових місцях;
- тріщини або обломи у фланцевій зоні кріплення картера;
- зношування отвору картера під втулку валу кермової сошки;
- пошкодження шарнірних елементів кермових тяг;
- деформація (погнутість) тяг;
- ослаблення посадки кермового колеса на валу.

Методи ремонту:

1. Черв'як замінюють при значному зносі робочої поверхні або відшаруванні загартованого шару.

2. Ролик валу сошки бракують за наявності тріщин чи вм'ятин. Черв'як і ролик підлягають обов'язковій одночасній заміні.

3. Зношені опорні шийки валу кермової сошки відновлюють хромуванням із подальшим шліфуванням під номінальний розмір. Альтернативно — шліфуванням під ремонтний розмір бронзових втулок, які запресовуються у картер.

4. Зношений різьбовий кінець валу сошки ремонтують методом вібродугового наплавлення: попередньо на токарному верстаті зрізають стару різьбу, потім наплавляють новий метал, обточують до номінального розміру і нарізають нову різьбу. Вали зі слідами зриву або скручування шліців бракуються.

5. Зношені посадкові місця підшипників у картері відновлюють установкою додаткових втулок: отвір розточують, після чого запресовують

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

втулку та обробляють її внутрішній діаметр під розмір підшипника.

6. Тріщини та обломи фланця картера усувають зварюванням із попереднім загальним підігрівом (застосовується газове зварювання).

7. Отвір у картері під втулку валу кермової сошки при зношуванні розгортають під ремонтний розмір.

У процесі експлуатації кермових механізмів із гідропідсилювачем часто спостерігається зношування картера розподільника, що зумовлено появою продуктів зносу — металевих частинок у робочій рідині. Для відновлення придатності картер піддають розточуванню з подальшим запресовуванням ремонтної втулки під номінальний розмір.

Ще однією поширеною несправністю є вихід із ладу пластикової заглушки сухаря рейки. Внаслідок деформації в місці контакту утворюється надмірний зазор, що призводить до появи стуку рейки. Ремонт передбачає заміну штатної пластикової заглушки на металевий аналог із підбором відповідного розміру. Для забезпечення надійної герметичності застосовують додаткову посадку на спеціальний герметик.

У кермовому приводі прискореному зношуванню підлягають:

- кульові пальці та їхні вкладиші у поперечній рульовій тязі;
- у меншій мірі — наконечники тяг;
- кінцеві отвори тяг (з їх розробкою та зривом різьби);
- пружини (ослаблення чи поломка);
- сама тяга (деформація, погнутість).

Ремонтні операції виконуються залежно від характеру дефекту:

- визначають придатність наконечників поперечної кермової тяги як у зборі, так і окремих їх елементів;
- за необхідності шарнірні наконечники розбирають: розшпінтовують різьбову пробку, викручують її з отвору головки тяги та демонтують деталі;
- зношені, з тріщинками чи задирками кульові пальці замінюють новими;
- одночасно встановлюють нові вкладиші кульових пальців;
- ослаблені або зламані пружини також підлягають заміні;

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– зношені отвори на кінцях тяг відновлюють зварюванням із наступною обробкою;

– погнуті рульові тяги виправляють у холодному стані, при цьому для запобігання сплюсненню профілю їх заповнюють дрібним сухим піском.

Характерні несправності ГПК:

– повна відсутність підсилення незалежно від частоти обертання колінчастого валу ДВЗ;

– недостатнє або нерівномірне підсилення при повороті керма в обидві сторони.

Усунення дефектів здійснюється шляхом розбирання насоса, зливу робочої рідини та ретельного промивання деталей. При цьому необхідно дотримуватись вимоги невзаємозамінності таких елементів: кришка насоса та перепускний клапан у зборі, статор, ротор і лопатки. Для зручності демонтаж і монтаж проводять у спеціальному пристрої з поворотною плитою.

Послідовність розбирання насоса ГПК:

1. Зняти кришку бачка та фільтр.

2. Демонтувати бачок з корпусу насоса.

3. Зняти кришку насоса, утримуючи перепускний клапан від випадання технологічною чекою (вал розташований вертикально, шків – унизу).

4. Зняти з штифтів розподільчий диск, статор та ротор у зборі з лопатками. На ротор попередньо надягають технологічне гумове кільце та роблять мітки для збереження взаємного положення статора, диска і корпусу.

5. Шків, стопорне кільце та вал насоса з переднім підшипником демонтують лише за потреби їх заміни чи ремонту.

6. Після розбирання елементи промивають у ванні з мийним розчином, обполіскують гарячою водою та продувають стисненим повітрям.

Рекомендований склад мийного розчину на 1 л води:

– тринатрійфосфат – (30,0-35,0) г;

– органічний напівпродукт (ОП-7) – (3,0-15,0) г;

– кальцинована сода – (10,0-15,0) г.

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контроль стану деталей:

- перевіряють вільне переміщення перепускного клапана в кришці насоса та надійність затягування сідла запобіжного клапана;
- контролюють відсутність задирів і нерівномірного зносу на торцевих поверхнях ротора, корпусу та розподільчого диска;
- торцеві робочі поверхні мають бути ідеально плоскими й перпендикулярними до осі отворів під підшипники (граничні відхилення визначаються ТУ).

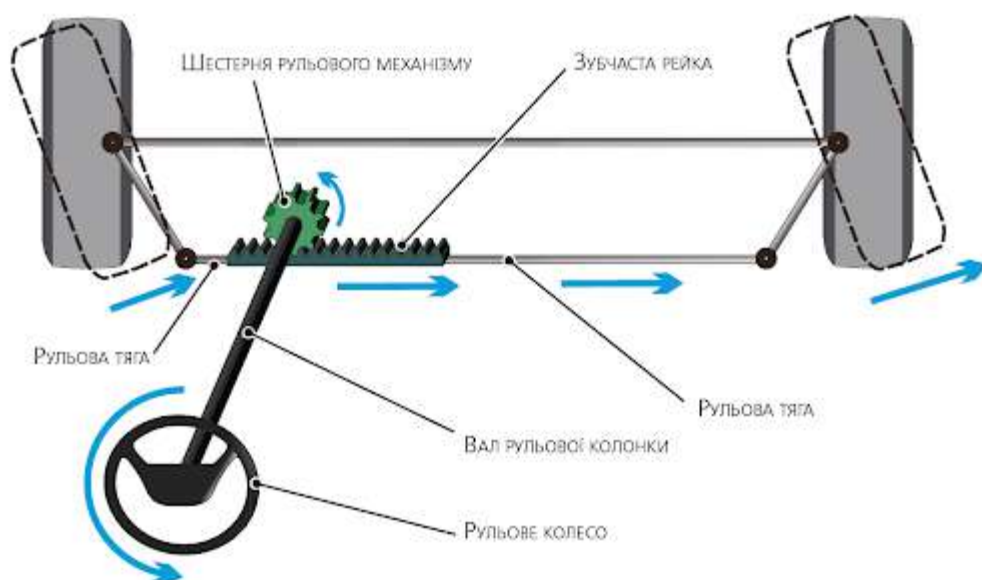
Після ремонту насос складають і проводять припрацювання на стенді згідно з ТУ. Після припрацювання насос випробовують на:

- продуктивність; – величину максимального тиску, що розвивається.

У процесі випробування перевіряють:

- відсутність вібрацій, поштовхів і сторонніх шумів;
- плавність наростання тиску;
- відсутність піноутворення мастила в бачку;
- герметичність ущільнень та з'єднань.

Завершальний етап: після перевірки та регулювання насос у складі ГПК монтують на кермовий механізм і проводять його остаточні випробування у зборі.



**Принципова будова механічної рейки [8]**

						КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
							19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

## 2 Функції, перевірка технічного стану, ремонт кермової рейки седана

### 2.1 Функції кермової рейки та її несправності

Кермова рейка (рис. Б2) – це ключовий елемент системи кермового керування седану, який виконує функцію механічного зв'язку між кермовою колонкою, поворотними кулаками та передніми колесами транспортного засобу (рис. 2.1). Її основне призначення полягає у перетворенні крутного моменту, прикладеного водієм до кермового колеса, у поступальний рух шестерні та рейки, який надалі трансформується у кутовий поворот коліс. Завдяки такій кінематичній схемі кермова рейка забезпечує точність передачі сили, стабільність траєкторії руху та необхідну чутливість кермового управління [3-9].



Рисунок 2.1 – Кермова рейка з ГПК [8]

Таким чином, кермова рейка є ключовим елементом системи кермового управління седану, яка виконує функцію передачі сили від кермового колеса до керованих коліс. Завдяки цьому механізму забезпечується їх поворот у ліву чи праву сторону, що дозволяє водію утримувати транспортний засіб на заданій траєкторії під час маневрування.

Щоб обертання рульового колеса перетворювалося на поворот передніх

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коліс седана, застосовується принцип черв'ячної передачі. Під час повороту керма водій надає обертальний рух приводній шестірні (черв'яку), яка знаходиться у зачепленні із зубчастою рейкою. Саме ця взаємодія забезпечує передачу сили та зміну напрямку руху коліс – рис. 2.2 [10].

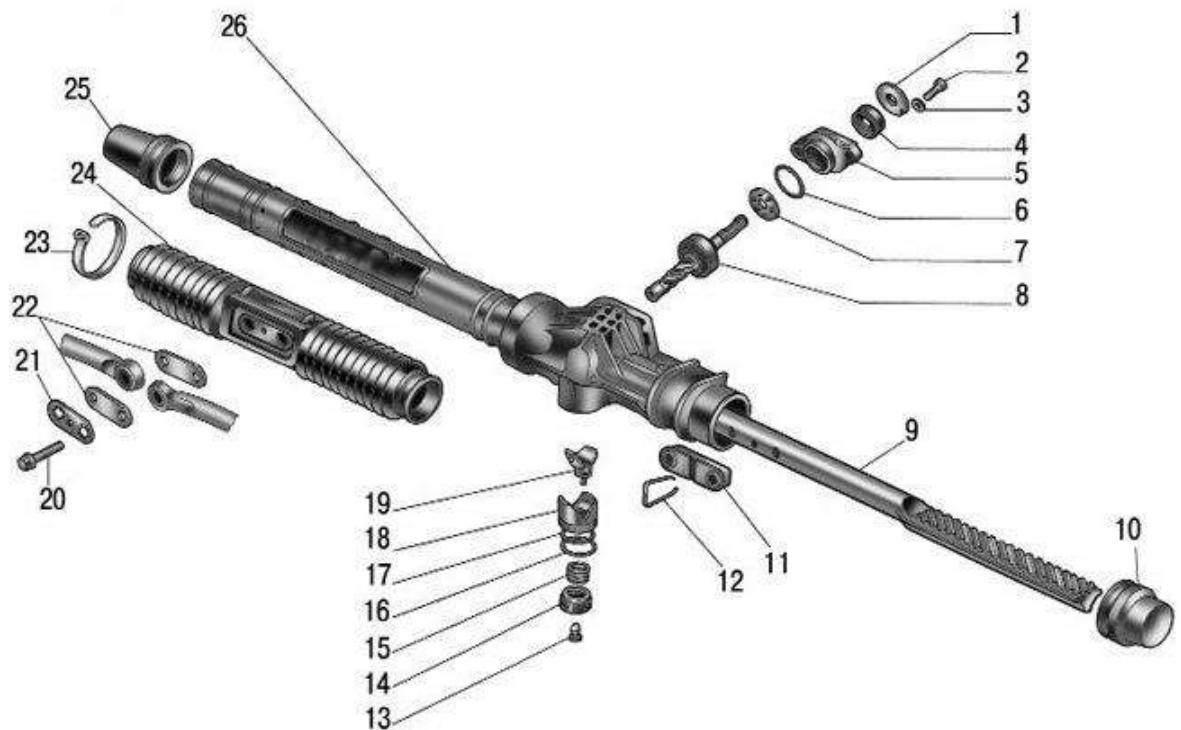


**Рисунок 2.2 – Кермовий механізм седана[10]**

Конструктивно кермова рейка є зубчастою передачею: шестерня, закріплена на рульовому валу, знаходиться у зачепленні із зубцями рейки (рис. 2.3). При обертанні керма навколо своєї осі шестерня переміщує рейку в одну чи іншу сторону, що у свою чергу через кермові тяги, наконечники та шарніри забезпечує поворот керованих коліс [3-9].

Оскільки кермова рейка безпосередньо впливає на точність і безпеку керування седаном, її несправність призводить до суттєвого погіршення керованості транспортного засобу та підвищує ймовірність виникнення аварійної ситуації. З метою запобігання небезпечним наслідкам при появі перших ознак несправності рекомендується своєчасно проводити діагностику та ремонт кермової рейки у кваліфікованих сервісних центрах [4].

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



**Рисунок 2.3 – Будова кермової рейки:**

1 – пильовик; 2 і 20 – болти; 3 – шайба; 4 – сальник; 5 – кришка картера; 6 і 17 – ущільнюючі кільця; 7 – сепаратор; 8 – привідна шестерня; 9 – РКМ; 10 – лівий захисний ковпачок; 11 – опора тяг; 12 – скоба; 13 – заглушка; 14 – гайка упору; 15 – пружина упору; 16 – стопорне кільце; 18 – упор рейки; 19 – вкладиш упору; 21 – стопорна пластина; 22 – пластина чохла; 23 – хомут; 24 – захисний чохол; 25 – правий захисний ковпачок; 26 – картер кермового механізму

Незадовільний стан дорожнього покриття значно прискорює зношування елементів ходової частини седану, у тому числі й кермової рейки, що з часом потребує проведення її відновлення (реставрації). Для кращого розуміння процесу ремонту кермової рейки доцільно спершу детально розглянути її функціональне призначення, конструктивні особливості кермового механізму, а також основні фактори, що спричиняють вихід з ладу, і характерні ознаки несправностей [3-5].

## 2.2 Ознаки несправностей кермової рейки

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки кермова рейка є складним агрегатом, яка включає значну кількість конструктивних елементів (шестерню, зубчасту рейку, корпус, підшипники, втулки, сальники, ущільнювачі, шарнірні вузли та ін.), то й спектр можливих несправностей досить широкий. Незважаючи на різноманітність проявів, існує низка типових ознак, за якими можна локалізувати проблему в системі кермового управління [3, 12]:

1. Сторонній стукіт у передній підвісці: спочатку проявляється у вигляді легких ударів при русі по нерівному дорожньому покриттю, але з часом інтенсивність шуму зростає. Це призводить до погіршення точності управління, зменшення жорсткості кінематичного зв'язку та підвищення ризику втрати контролю над транспортним засобом.

2. Витік робочої рідини ГПК: поява масляних слідів або калюж під седаном свідчить про розгерметизацію системи, спричинену зношенням ущільнюючих елементів (сальників, прокладок, манжет).

3. Утруднене керування: кермо повертається із значною силою, а процес супроводжується характерним гулом або свистом. Причиною може бути не лише внутрішній знос елементів насоса чи рейки, а й пошкодження або пробуксовування приводного паса.

4. Порушення самоповернення коліс: транспортний засіб некоректно реагує на поворот кермового колеса і не повертає його у вихідне положення після маневру, що свідчить про дефекти рейково-шестеренного зачеплення чи підвищений опір у шарнірних з'єднаннях.

5. Вібрації і люфт керма: відчутне биття кермового колеса, особливо під час поворотів, яке може супроводжуватися скрипом, хрустом або стуком. При прямолінійному русі спостерігається резонансна вібрація.

6. Збої в роботі гідропідсилювача: на холостих обертах відсутня допомога з боку ГПК; можливе піноутворення робочої рідини або падіння її рівня у бачку.

7. Збільшення вільного ходу кермового колеса: зростання люфту

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

призводить до того, що водієві доводиться постійно коригувати траєкторію руху седану, що знижує безпеку керування.

8. Повне заклинювання механізму: відсутність реакції керованих коліс на обертання керма або неможливість їх повернення у вихідне положення при повороті «до упору».

У більшості перелічених випадків просте регулювання рейки не забезпечує відновлення її працездатності — необхідна реставрація або ремонт кермового механізму. Якщо ж виявлено механічні пошкодження, наприклад, руйнування хоча б одного зуба зубчастої рейки, такий елемент підлягає повній заміні.

### 2.3 Причини виходу з ладу кермової рейки

Сучасні системи кермового управління відзначаються високою надійністю та значним експлуатаційним ресурсом. У середньому виробники гарантують безвідмовну роботу кермової рейки до пробігу 200 тис. км, однак на практиці її несправності часто проявляються значно раніше. Це пояснюється як природним зношуванням елементів, так і дією зовнішніх факторів, серед яких головними є підвищена вологість, потрапляння бруду та інтенсивні механічні навантаження. У більшості випадків передчасні відмови кермової рейки спричинені порушеннями правил експлуатації седану. До основних причин несправності відносять [10–16]:

- рух на великій швидкості через «лежачі поліцейські», трамвайні колії чи інші перешкоди;
- повороти керма до упору при нерівностях дорожнього покриття;
- тривалу стоянку седану в зимовий період із вивернутими колесами;
- різкі оберти керма на непрогрітому двигуні;
- розтягування або провисання приводного паса, що порушує роботу гідропідсилувача;
- удари та вібрації, здатні спричинити пошкодження ущільнень та витік

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робочої рідини;

- експлуатацію з порушеним кутом «розвалу-сходження»;
- ігнорування люфту в редукторах, підшипниках і кульових опорах;
- відсутність балансування передніх коліс;
- ослаблення шарнірів та важелів кермового приводу;
- деформацію деталей кермового механізму внаслідок ударних навантажень;
- роботу системи при зниженому рівні робочої рідини гідروпідсилювача;
- несвоєчасну заміну мастильної рідини ГПК, що призводить до втрати її експлуатаційних властивостей.

## 2.4 Методика діагностики кермової рейки

Зношування елементів передньої підвіски та несправності кермової рейки нерідко мають схожу симптоматику, оскільки в обох випадках седан втрачає курсову стійкість, а також з'являються сторонні шуми й вібрації. Саме тому часто постає питання: як відрізнити поломку кермової рейки від дефектів ходової частини? Єдиним надійним рішенням є ретельна діагностика всіх конструктивних вузлів і деталей кермового приводу та підвіски [12-14].

Найпростіший спосіб первинної перевірки – удар ногою в бічну поверхню шини переднього колеса. Якщо кульові опори та сайлентблоки справні, колесо залишається нерухомим і не реагує на удар. У випадку, коли фіксується зміщення колеса, потрібно уважно перевірити деталі ходової частини. Якщо ж при цьому виникають вібрації або чутні характерні стуки, найбільш імовірна несправність криється саме в кермовій рейці.

Для проведення професійної діагностики застосовують оглядову яму або піднімач, що дозволяє комплексно оцінити стан механізму. Алгоритм робіт включає такі етапи [12–16]:

- перевірка цілісності пильовиків шарнірів рульових тяг, які запобігають потраплянню пилу, бруду та вологи у вузол;

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- візуальний огляд корпусу рейки з метою виявлення слідів розгерметизації та підтікання робочої рідини;
- тестування на ходу: помічник обертає кермо в обидва боки до упору, а майстер локалізує джерело сторонніх шумів, які виникають у механізмі;
- перевірка люфту рейки: фіксується шток рейки за допомогою спеціальних затискних кліщів, після чого оцінюється легкість повороту керма;
- оцінка стану рульових тяг: наявність поперечного люфту свідчить про руйнування опорних втулок, підвищений знос зубчастої рейки або шестерні валу.

## **2.5 Засоби уникнення поломок кермової рейки**

Щоб збільшити ресурс експлуатації кермової рейки та запобігання передчасному зносу її конструктивних елементів потрібно дотримуватися таких рекомендацій [12–16]:

1. Контроль стану пильовиків. Регулярно перевіряти цілісність захисних чохлах шарнірів та рейкових механізмів. При виявленні пошкоджень пильовики потрібно негайно замінити, адже їхній розрив відкриває доступ пилу, бруду й вологи, що неминуче призводить до прискореного руйнування вузла.

2. Прогрів узимку. У холодний період перед виїздом бажано кілька разів плавно обернути кермо на запущеному двигуні. Це сприяє рівномірному розподілу робочої рідини та мастильних матеріалів, зменшуючи навантаження на насос і рейку.

3. Обмеження повороту до упору. Не рекомендується утримувати кермо у крайньому положенні більше 5 с., оскільки це створює надлишковий тиск у системі гідропідсилювача й може викликати пошкодження ущільнювачів та шестерні.

4. Уникання ударних навантажень. Слід об'їжджати великі вибоїни, а подолання бордюрів чи «лежачих поліцейських» виконувати тільки на малій швидкості. Сильні удари провокують деформацію деталей кермового приводу

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та збільшують люфт.

5. Спокійний стиль керування. Варто уникати агресивної манери їзди з різкими поворотами, які створюють перевантаження для шестеренно-рейкового зачеплення.

6. Контроль рівня рідини. Регулярно перевіряти об'єм робочої рідини у бачку ГПК. Її нестача може призвести до повітряних пробок, перегріву та підвищеного зносу елементів.

7. Зимова профілактика. У холодну пору перед початком руху доцільно кілька разів плавно повернути кермо вліво та вправо, що дозволяє прогріти рідину в системі ГПК і знизити гідравлічний опір.

## 2.6 Ремонт рейки кермового механізму

Сучасні кермові рейки часто оснащені механізмами, які значно полегшують обертання кермового колеса, особливо у момент стоянки седану або при низьких швидкостях. Найпоширенішим таким пристроєм є ГПК. У цьому випадку до стандартної рейки додається виконавчий гідромеханізм, який включає золотниковий розподільник і насос, що приводиться в дію пасом від колінчастого валу ДВЗ. Насос всмоктує гідравлічну рідину з розширювального бачка і подає її під високим тиском (50,0–100,0 атм) у золотниковий розподільник, забезпечуючи значне зниження фізичної сили при повороті керма [3-5].

Таким чином, кермова рейка є не лише обов'язковим елементом вузла кермового управління, а й критично важливим агрегатом з точки зору безпеки водія та пасажирів. Через це своєчасна реставрація або заміна рейки є необхідною процедурою. Середній термін служби кермової рейки складає (200,0–300,0) тис. км пробігу, однак він значно зменшується за умови інтенсивної експлуатації або при їзді по поганих дорогах [3-5].

Основною причиною передчасного виходу рейки з ладу є удари та вібрації, які передаються на вузол кермового управління від нерівностей

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дорожнього покриття, вибоїн, колій або штучних перешкод. Такі механічні навантаження спричиняють підвищене зношування зубців рейки, втулок та ущільнювачів, що у підсумку призводить до необхідності проведення реставраційних робіт.

Відновлення рульової рейки передбачає комплекс заходів, спрямованих на її повний ремонт і повернення вузла до початкової працездатності.

Алгоритм відновлення рульової рейки наступний [10-16]:

1. Демонтаж вузла:

- зняти рульову рейку із седана;
- від'єднати рульові тяги та всі з'єднання.

2. Розбирання:

- розібрати рульову рейку на окремі складові;
- витягнути шестерню, шток та інші елементи.

3. Діагностика та дефектація:

- перевірити стан зубчастого зачеплення (шестерня ↔ рейка) ;
- оцінити люфт, наявність зношування або тріщин;
- оглянути корпус на герметичність і механічні пошкодження.

4. Вибір варіанту ремонту:

- дефектів немає → провести очищення, змащення, скласти назад;
- невелике зношування зубців → виконати регулювання спеціальною гайкою;
- сильне зношування шестерні або рейки → відновити зачеплення (шліфування, наплавлення) або замінити деталі;
- тріщини корпусу → відремонтувати зварюванням аргоном.

5. Складання:

- установити всі елементи на місце;
- перевірити правильність зачеплення та відсутність сторонніх люфтів.

6. Монтаж на седан:

- установити рейку у штатне місце;
- під'єднати рульові тяги, ущільнення, кріплення.

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7. Контроль:

- перевірити герметичність, відсутність стукотів і вібрацій;
- провести тест-драйв.

Тривалість робіт: від 5 год. (при мінімальних ушкодженнях) до кількох діб (при серйозних ремонтах із заміною деталей).

Допустимі пошкодження рульової рейки та методи її ремонту наведені на рис. 2.4 та у табл. 2.1 [10-16]:



**Рисунок 2.4 – Зношення або пошкодження зубців рейки**

**Таблиця 2.1 – Допустимі пошкодження рульової рейки та методи її ремонту**

Стан рейки / характер пошкоджень	Допустиме зношення, мм	Метод ремонту	Використовувані деталі
Поверхнева корозія (незначна)	$\leq 0,10$ мм	Шліфування на спецобладнанні, очищення, відновлення гладкості	Сальники та опорні втулки номінального розміру
Глибока корозія, помірні пошкодження	$\leq 0,05$ мм	Шліфування на величину до 0,5 мм	Ремонтні запчастини (збільшеного розміру), сальники підбираються за каталогом
Зношення або пошкодження зубців рейки	Будь-яке	Ремонт неможливий	Повна заміна рейки
Перевищення граничного зношення	$> 0,50$ мм	Ремонт недопустимий	Повна заміна рейки

### 3 Вибір матеріалу та методів зміцнення рейки кермового управління седана Daewoo Nubira III (j200)

Сталь марки 20ХНР (замінник – сталь 20ХН) належить до хромонікелевих сталей, які містять приблизно 0,20% С, а також до 1% Cr, Ni і В ( випускається відповідно до ДСТУ 7809). Такі сталі відносять до високоякісних конструкційних легованих сталей [17], які поєднують у собі міцність, пластичність і довговічність.

Хромисті сталі з низьким вмістом С зазвичай піддають цементації з подальшою ТО, тоді як сталі із середнім або високим вмістом С — поліпшенню, тобто гартуванню з наступним високим відпуском. Така обробка дозволяє досягти оптимального співвідношення між твердістю поверхні та в'язкістю серцевини.

Після проведення цементації та подальшого гартування поверхневий шар набуває високої твердості та стійкості до стирання, тоді як серцевина стає міцнішою і більш пружною порівняно зі звичайною вуглецевою сталлю. Така комбінація властивостей забезпечує надійність деталей, які працюють в умовах великих швидкостей ковзання, змінних навантажень, середніх контактних тисків, під ударними навантаженнями. До таких деталей належать зубчасті колеса, кулачкові муфти, поршневі пальці, а також інші елементи механізмів, які потребують високої міцності та зносостійкості.

Хімічний склад сталі 20ХНР наведений у табл. 3.1.

**Таблиця 3.1 – Масова доля елементів, % по ДСТУ 7809**

С	Si	Mn	Ni	S, до	P, до	Cr	Ti, до	Cu, до	В
0.16-0.23	0.17-0.37	0.6-0.9	0.8-1.1	0.035	0.035	0.7-1.1	0.06	0.3	0.001-0.005

Технологічні властивості сталі 20ХНР наведені у табл. 3.2 [18].

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ				Арк.
									30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

**Таблиця 3.2 – Технологічні властивості сталі 20ХНР**

<b>Зварюваність:</b>	обмежено зварювана
<b>Флокеночутливість:</b>	чутлива
<b>Схильність до відпускнуї крихкості:</b>	схильна

Температура критичних точок сталі 20ХНР наведена у табл. 3.3 [18-20].

**Таблиця 3.3 – Температура критичних точок сталі 20ХНР, °С**

Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>	Ar <sub>1</sub>	Ar <sub>3</sub>
730	810	615	700

У хромонікелеві сталі спеціально вводять легуючі елементи Cr і Ni. Ni, хоча й є відносно дорогою легувальною добавкою, суттєво покращує структуру сталі, підвищуючи її ударну в'язкість, корозійну стійкість та здатність до загартування. Cr, своєю чергою, забезпечує сталі високу твердість, жаростійкість і зносостійкість. Завдяки такому поєднанню елементів хромонікелеві сталі вважаються одними з найкращих конструкційних сталей, особливо для деталей, які працюють у складних та відповідальних умовах експлуатації, при підвищених навантаженнях або змінних температурах.

До основних недоліків цих сталей належить дещо знижена оброблюваність різанням, що пов'язано з наявністю Ni у складі, а також схильність до відпускнуї крихкості 2-го роду. Такі сталі, зокрема 20ХНР, зазвичай піддають цементації з подальшою ТО або поліпшенню для досягнення оптимальних механічних властивостей.

Завдяки поєднанню високої міцності, в'язкості та технологічної надійності хромонікелеві сталі знаходять широке застосування в авіаційному, автомобільному та тракторобудуванні, а також у виробництві відповідальних машинобудівних деталей [18–20].

Під час роботи зі сталлю марки 20ХНР виникає низка технологічних і структурних складнощів. Основною проблемою є наявність у її складі Ni, який належить до дефіцитних і дорогих легувальних елементів. Саме тому

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосування даної марки сталі в масовому виробництві вважається небажаним, особливо за умов, коли існують доступніші аналоги з подібними механічними характеристиками.

Сталі, які містять близько 0,06% Ti, мають істотний недолік — під час газової цементації вони схильні до внутрішнього окиснення, яке призводить до зниження твердості насиченого шару, зменшення межі витривалості та погіршення експлуатаційних властивостей деталей. Крім того, сталь 20ХНР проявляє схильність до відпускнуї крихкості, що може спричинити зниження в'язкості після ТО.

Водночас Ti позитивно впливає на структуру сталі: він знижує чутливість до перегрівання, сприяє дробленню зерна, підвищує однорідність структури, хоча й дещо погіршує її оброблюваність різанням. Ti належить до легувальних елементів, які утворюють у сталі важкорозчинні карбіди, які не переходять у твердий розчин навіть при нагріванні до температур (1250–1300) °С.

Через це під час гартування з відносно низьких температур значна частина Ti залишається у вигляді стійких карбідів, і лише невелика його частка розчиняється у твердому розчині. Діючи як зародкоутворювач та зв'язуючи С у карбіди, Ti знижує прожарюваність сталі. Однак та частина Ti, яка переходить у твердий розчин, навпаки, сприяє її підвищенню.

Таким чином, вплив Ti на прожарюваність і механічні властивості сталі залежить від його концентрації, температури гартування, а також від присутності інших легувальних елементів. Одночасне введення Cr і Mn в легований склад підвищує прожарюваність, міцність і стабільність структури сталі, що робить її більш придатною для виготовлення навантажених деталей машин і механізмів.

Cr є одним із найважливіших і найпоширеніших легувальних елементів, який широко застосовується при виробництві конструкційних сталей. У більшості випадків його вміст у таких сталях становить (0,70–1,10) %, хоча точне значення залежить від конкретного призначення матеріалу. Додавання Cr, який має здатність утворювати стійкі карбіди, сприяє значному підвищенню

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

твердості, міцності та зносостійкості сталі.

Таким чином, важливою перевагою хромистих сталей є їх висока прожарюваність, що забезпечує рівномірне гартування навіть при значних товщинах перерізу. Однак основним недоліком таких сталей залишається схильність до відпускнуї крихкості 2-го роду, яка може проявлятися під час експлуатації або неправильно проведеної термообробки. Для запобігання цьому часто застосовують спеціальні режими відпуску або легування сталей додатковими елементами, що знижують крихкість.

### 3.1 Призначення сталі 20ХНР

До групи цементованих деталей, які експлуатуються в умовах підвищених навантажень, належать шестерні, вали, зубчасті рейки, втулки, силові шпильки, болти, черв'яки, муфти та інші відповідальні елементи машин. Для таких деталей висуваються підвищені вимоги до механічних властивостей матеріалу, а саме — високої міцності, пластичності та в'язкості серцевини, які забезпечують надійність роботи під час дії ударних і змінних навантажень.

Одночасно з цим поверхневі шари повинні мати високу твердість і зносостійкість, отримані в результаті цементації та гартування, що гарантує тривалий термін служби навіть при роботі в агресивних або низькотемпературних умовах. Такі вироби ефективно функціонують при негативних температурах, зберігаючи необхідний запас міцності, стійкість до втоми матеріалу та точність з'єднань у різних вузлах машин і механізмів.

### 3.2 Механічні властивості сталі 20ХНР

Механічні властивості сталі 20ХНР наведені у табл. 3.4 [26].

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Таблиця 3.4 – Механічні властивості сталі 20ХНР [17-20]**

Переріз, мм	s <sub>0,2</sub> , МПа	s <sub>b</sub> , МПа	d <sub>5</sub> , %	ψ, %	КСУ, Дж/м <sup>2</sup>	НВ	HRC
Пруток. Гартування 820 °С, масло. Відпустка 500 °С, вода або масло.							
15	735	930	12	55	108	15	
Цементация (920-950) °С. Нормалізація (870-890) °С, повітря. Відпустка (630-660) °С, повітря. Гартування (790-810) °С, масло. Відпустка (180-200) °С, повітря.							
100	690	830	11	50	69	59	63

### **3.3 Аналіз впливу вуглецю і легуючих елементів сталі 20ХНР на технологію її термообробки та отримані результати**

Метою ТО є надання матеріалу рейки необхідних фізико-механічних властивостей шляхом впливу на нього різними температурними режимами та швидкостями охолодження. У результаті таких процесів відбувається зміна внутрішньої структури сталі, що визначає її експлуатаційні характеристики. У випадку ХТО, крім структурних перетворень, додатково здійснюється зміна хімічного складу поверхневого шару, що дозволяє сформувати підвищену твердість, зносостійкість і корозійну стійкість поверхні деталі.

Попередня ТО заготовок (відпал або нормалізація) проводиться з метою отримання мікроструктури, яка забезпечує оптимальні умови для механічної обробки — покращує різання, шліфування та нарізання зубів. Після завершення цих операцій зубчасті колеса піддають зміцненню — це може бути гартування з подальшим відпуском або ХТО, залежно від вимог до твердості й глибини зміцненого шару.

Cr є одним із найпоширеніших легувальних елементів, який відіграє важливу роль у формуванні структури та властивостей сталі. Додавання Cr підвищує температуру точки A<sub>c1</sub> та знижує точку A<sub>r3</sub>, тим самим замикаючи область γ-заліза. У присутності Cr температура евтектоїдного перетворення (точка A<sub>r1</sub>) підвищується, а вміст C в евтектоїді (перліті), навпаки, зменшується.

Cr утворює з вуглецем карбіди типу Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> і Cr<sub>2</sub>C, які є значно міцнішими

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ		Арк.
							34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

та стійкішими, ніж звичайний цементит. У сталях із вмістом Cr (3–5)% одночасно присутні легований цементит і карбід  $Cr_7C_3$ , тоді як при концентрації понад 5% Cr структура представлена переважно карбідом Cr C .

Розчиняючись у фериті, Cr підвищує його твердість, міцність та опір зносу, хоча дещо знижує в'язкість матеріалу. Крім того, Cr суттєво збільшує стійкість переохолодженого аустеніту, сприяючи утворенню дрібнозернистої структури після гартування та забезпечуючи підвищену стабільність механічних властивостей сталі при зміні температури.

У зв'язку з високою стійкістю переохолодженого аустеніту в хромистих сталях та тривалістю його розпаду, проведення процесів ізотермічного відпалу або ізотермічного гартування вважається недоцільним. Це пояснюється тим, що аустеніт у таких сталях характеризується підвищеною стабільністю, і для досягнення потрібних структурних перетворень потрібен занадто тривалий час витримки при проміжних температурах.

Cr істотно зменшує критичну швидкість охолодження при гартуванні, завдяки чому хромисті сталі відзначаються глибокою прожарюваністю — можливістю рівномірного гартування навіть у масивних деталях. Одночасно з цим температура мартенситного перетворення у присутності Cr знижується, що впливає на вибір оптимального режиму ТО.

Cr також перешкоджає росту зерна аустеніту, сприяє формуванню дрібнозернистої структури та підвищує стійкість сталі до відпуску, тобто запобігає надмірному зниженню твердості при повторному нагріванні. У зв'язку з цим відпуск хромистих сталей зазвичай проводиться при вищих температурах, ніж для вуглецевих сталей. Проте ці сталі схильні до відпускнуї крихкості, тому після відпуску деталі необхідно охолоджувати швидко, зазвичай у маслі або на повітрі з інтенсивним обдувом, щоб уникнути утворення крихких структур.

Так як основними карбідоутворюючими елементами у хромистих сталях є Cr та Mn, то під час розчинення цих елементів у цементиті утворюються леговані карбіди, або так звані легований цементит. При підвищенні вмісту

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

карбідоутворюючих елементів виникають самостійні (прості) карбіди типу  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ,  $\text{Cr}_3\text{C}$ ,  $\text{Mo}_2\text{C}$  тощо.

Усі такі карбіди характеризуються дуже високою твердістю (до HRC 70–75) і високою температурою плавлення. Наприклад, карбід  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  плавиться приблизно при  $t = 1700$  °С, що зумовлює його надзвичайну термічну стабільність і стійкість до зношування. Завдяки наявності цих карбідів хромисті сталі набувають підвищеної зносостійкості, жаростійкості та довговічності під час роботи в умовах великих навантажень і високих температур.

Введення легувальних елементів чинить суттєвий вплив на перлітове перетворення в сталях. Під їхнім впливом температура перлітового перетворення може як знижуватися, так і підвищуватися, залежно від природи легувального елемента. При цьому спостерігається зменшення концентрації С у перліті, що призводить до зсуву точки S на діаграмі стану Fe–Fe<sub>3</sub>C. Ця точка може зміщуватися вліво і вниз, якщо легувальний елемент знижує вміст С в евтектоїдній суміші, або вгору, якщо, навпаки, сприяє його збагаченню. Таким чином, введення легувальних елементів викликає зміщення рівноважних точок на діаграмі Fe–Fe<sub>3</sub>C, що відображає зміну фазових співвідношень і характер структурних перетворень у сталі.

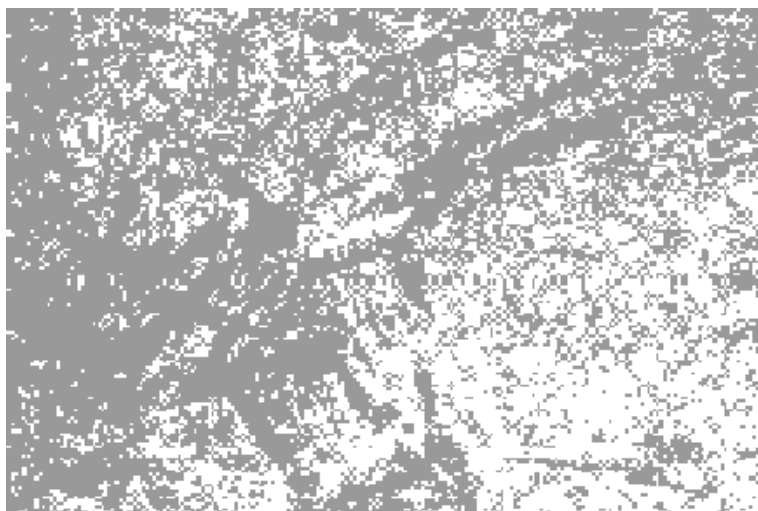
У присутності карбідоутворюючих елементів (таких як Cr, Mo, V, Ti) форма ізотермічної кривої розпаду аустеніту зазнає суттєвих змін. Вона втрачає свій типовий С-подібний вигляд і набуває подвійної С-подібної форми, на якій спостерігаються дві зони мінімальної стійкості аустеніту, розділені зоною максимальної стійкості.

Верхня зона мінімальної стійкості аустеніту розташована в діапазоні температур (600–650) °С. У цій зоні відбувається розпад переохолодженого аустеніту з утворенням ферито-цементитної суміші, тобто структури, близької до перліту. Цей процес характерний для більш спокійних режимів охолодження і супроводжується виділенням надлишкового фериту.

Нижня зона мінімальної стійкості аустеніту, навпаки, розташована при нижчих температурах — у межах (300–400) °С. Тут спостерігається розпад

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переохолодженого аустеніту з утворенням голчастого трооститу (рис. 3.1) або нижнього бейніту, що формує більш дрібну, тверду й міцну структуру. У цій зоні перебіг перетворення є більш дифузійно-ускладненим і супроводжується значним переохолодженням аустеніту.



**Рисунок 3.1 – Мікроструктура голчастого трооститу [17]**

Таким чином, наявність легувальних і карбідоутворюючих елементів не лише змінює положення рівноважних точок на діаграмі Fe–Fe<sub>3</sub>C, але й впливає на кінетику фазових перетворень, форму ізотермічних кривих, а також на морфологію та властивості кінцевих структур у сталі.

Необхідно враховувати, що карбідоутворюючі елементи підвищують стійкість аустеніту лише за тієї умови, коли вони перебувають у розчиненому стані в його структурі. У цьому випадку атоми легувальних елементів, таких як Cr, Mo, V, Ti, стабілізують аустеніт, зменшуючи схильність до його передчасного розпаду і сприяючи утворенню дрібнозернистої структури.

Якщо ж ці елементи не розчиняються в аустеніті, а існують у вигляді окремих, виділених карбідів, то ефект буде протилежним — аустеніт втрачає свою стабільність. Це пояснюється тим, що карбіди виконують роль центрів кристалізації, прискорюючи розпад переохолодженого аустеніту. Крім того, наявність нерозчинених карбідів призводить до збіднення матриці аустеніту легувальними елементами та С, що знижує його хімічну і термічну стійкість.

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, для забезпечення стабільності структури сталі важливо контролювати ступінь розчинення карбідоутворюючих елементів під час ТО.

При високому вмісті Cr у сталі утворюються спеціальні стійкі карбіди Cr, які значно впливають на поведінку матеріалу при нагріванні. Такі карбіди забезпечують сталі високу твердість і термостійкість, завдяки чому навіть при нагріванні до температур (400,0–450,0) °C твердість практично не змінюється.

При подальшому підвищенні температури до (450,0–500,0) °C спостерігається навіть зростання твердості, що пояснюється процесом вторинного тверднення — утворенням дрібнодисперсних вторинних карбідів, які зміцнюють структуру сталі. Такий ефект є характерним для високолегованих хромистих сталей, які застосовуються у виробництві деталей, які працюють при високих температурах і потребують стабільності механічних властивостей у тривалому режимі експлуатації.

### 3.3.1 Маршрутна технологія виготовлення рейки

Процес виготовлення рейок здійснюється за певною маршрутною технологією, яка включає такі основні етапи:

1. Штампування або кування (формування заготовки необхідної форми й розмірів шляхом гарячого деформування металу; на цьому етапі забезпечується щільна структура металу та орієнтація волокон уздовж основних напрямків навантаження).

2. Попередня ТО заготовок рейок (застосовується для зняття внутрішніх напружень після гарячої деформації та отримання оптимальної мікроструктури, яка забезпечує добру оброблюваність різанням; найчастіше проводиться відпал або нормалізація).

3. Механічна обробка рейок (виконується з метою надання деталі точних геометричних розмірів і форми; на цьому етапі здійснюється токарна, фрезерна, шліфувальна та зубонарізна обробка відповідно до технічних вимог креслення).

4. Підготовка поверхні рейок до подальшої ТО (включає очищення

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхні від окалини, мастил та забруднень, а також нанесення захисних покриттів на ті зони, які не підлягають цементації чи гартуванню; це забезпечує рівномірність хіміко-термічних процесів).

5. Остаточна ТО (може включати цементацію, гартування, відпуск або інші процеси, спрямовані на зміцнення поверхневого шару й отримання необхідних механічних властивостей серцевини деталі).

6. Остаточний контроль (проводиться після завершення всіх операцій і включає перевірку геометричних параметрів, твердості, якості поверхні та відповідності деталей вимогам технічних умов).

### **3.4 Режим операцій попередньої та остаточної термообробки сталі 20ХНР**

#### **3.4.1 Термічна обробка заготовок рейки**

Після кування або штампування заготовки піддають попередній ТО, яка проводиться перед механічною обробкою. Основною метою цього етапу є покращення технологічних властивостей сталі під час подальшого виготовлення рейки методами різання або холодної пластичної деформації. Попередня ТО сприяє зняттю внутрішніх напружень, зменшенню твердості після гарячої деформації та формуванню структури, придатної для точної обробки.

Для того, щоб забезпечити однорідну структуру металу, добру оброблюваність різанням, а також мінімальну та стабільну деформацію рейок під час подальших процесів цементації і гартування, заготовки після термічної підготовки повинні мати рівномірну ферито-перлітну структуру. При цьому структура повинна складатися з рівновісних, дрібних зерен, а також характеризуватися оптимальним співвідношенням твердості фериту та перліту. Такий структурний стан забезпечує стабільність розмірів і форми деталей у процесі ТО.

Недопустимою є наявність у структурі продуктів проміжного

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворення (трооститу, сорбіту, бейніту) та суцільних карбідних виділень уздовж меж зерен, оскільки вони спричиняють підвищену крихкість, нерівномірність механічних властивостей і можуть викликати викривлення або тріщиноутворення під час цементації чи гартування [20]. Таким чином, правильно проведена попередня ТО є необхідною умовою для забезпечення високої точності, стабільності розмірів і надійності готових рейок.

Метал заготовки зі зниженою твердістю має властивість прилипати до різального інструменту під час механічної обробки, що негативно впливає на шорсткість обробленої поверхні. У той же час, занадто твердий матеріал викликає інтенсивний знос інструменту, зменшуючи його ресурс і підвищуючи витрати на обробку.

Враховуючи велику неоднорідність металу в стані постачання, нерівномірне охолодження заготовки після кування та інші технологічні чинники, формування однорідної ферито-перлітної структури забезпечується шляхом ізотермічного відпалу.

Ізотермічний відпал полягає у нагріві сталі вище лінії  $A_{c3}$  на (30–50) °С, подальшому охолодженні до температури нижче  $A_{c1}$  на (50–100) °С і витримці при цій температурі до повного перетворення аустеніту на перліт. Після закінчення витримки заготовки повільно остигають у печі до  $t = 100$  °С, що забезпечує однорідну і дрібнозернисту структуру металу та стабільну твердість.

Особливості проведення ізотермічного відпалу при ПТО рейок полягають у наступному: час витримки при  $t$  аустенізації складає приблизно 1 год.. Слід враховувати, що збільшення  $t$  нагріву підвищує стійкість переохолодженого аустеніту, унаслідок чого його розпад по перлітному механізму при наступній ізотермічній витримці може не відбутися протягом технологічно прийняттого часу. Це робить критичним точний вибір температурного режиму та часу витримки, щоб забезпечити необхідні властивості металу для подальшої механічної обробки і ТО деталей.

Охолодження заготовок від  $t$  аустенізації повинно бути прискореним, здійснюватися протягом (4,0–12,0) хв. і проводитися потоком повітря,

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підігрітого до приблизно  $t = 350 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , у спеціальних камерах агрегатів для ізотермічного відпалу. У разі повільнішого охолодження після завершення ізотермічного розпаду в металі формується смужчата ферито-перлітова структура, орієнтована за напрямом попередньої пластичної деформації. Така структура погіршує якість обробки різанням, зменшує точність розмірів і чистоту поверхні деталей. Особливо недопустимою вона є, якщо ширина феритних смуг перевищує  $h = 50,0 \text{ мкм}$ , оскільки це призводить до значної неоднорідності твердості та механічних властивостей матеріалу. Крім того, уповільнене підстуджування збільшує розбіжність твердості фериту і перліту, що негативно впливає на подальшу ТО та експлуатаційну міцність рейок.

Час витримки при ізотермічному відпалі залежить від марки сталі та визначається необхідним часом для повного розпаду аустеніту та часткової коагуляції карбідів. Для сталі марки 20ХНР витримка складає приблизно  $\tau = 2 \text{ год.}$ , що забезпечує формування однорідної ферито-перлітної структури з дрібними зернами і стабільною твердістю.

Таким чином, вибраний режим ізотермічного відпалу для рейок зі сталі 20ХНР включає нагрів вище  $A_{c3}$  на  $(30-50) \text{ }^{\circ}\text{C}$ , охолодження до  $t$  нижче  $A_{c1}$  на  $(50-100) \text{ }^{\circ}\text{C}$ , ізотермічну витримку протягом  $\tau = 2 \text{ год.}$  та прискорене охолодження потоком повітря до  $350 \text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом  $\tau = (4-12) \text{ хв.}$ , після чого заготовки повільно остигають до температури близько  $t = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  у печі. Такий режим забезпечує стабільність механічних властивостей, високу оброблюваність та рівномірну структуру металу, що є критично важливим для подальшої ТО та експлуатації рейок:

1. Нагрівання садки на  $t$  аустенізації:

$$T_{\text{н}} = A_{c3} + 40^{\circ}\text{C} = 830^{\circ}\text{C} + 40^{\circ}\text{C} = 870^{\circ}\text{C} \quad (3.1)$$

2. Витримка при  $t$  аустенізації приблизно  $\tau = 1 \text{ год.}$

3. Охолодження до  $t$  ізотермічного відпалу:

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

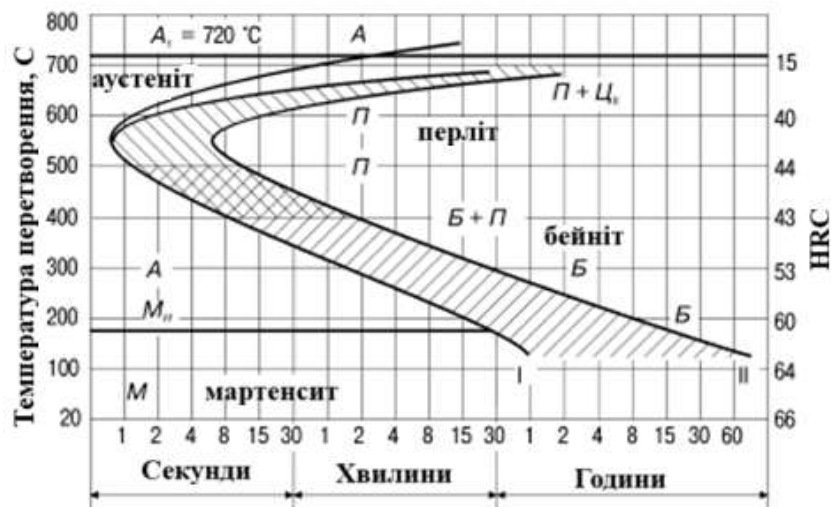
$$T_{iB} = A_{c1} - 100^{\circ}\text{C} = 740^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C} = 640^{\circ}\text{C} \quad (3.2)$$

Приймаємо час охолодження:  $\tau_{\text{охол}} \approx 7$  хв.

Отже, швидкість охолодження:

$$V_{\text{охол}} = (T_{\text{H}} - T_{iB}) / 10 \text{ хв.} = (870^{\circ}\text{C} - 640^{\circ}\text{C}) / 7 \text{ хв.} = 33^{\circ}\text{C/хв.} \quad (3.3)$$

4. Витримка при  $t$  ізотермічного відпалу. Оскільки для сталі 20ХНР немає експериментально побудованих діаграм розпаду переохолодженого аустеніту, для визначення режимів ізотермічного відпалу доцільно звернутися до аналогічної заміни – сталі 20ХН (рис. 3.3).



**Рисунок 3.3 – Ізотермічна діаграма розпаду переохолодженого аустеніту сталі 20ХН**

Аналіз структурних і термічних властивостей показує, що присутність В у 20ХНР підвищує стійкість переохолодженого аустеніту та зміщує початок перлітного перетворення на діаграмі вправо, тобто до більш низьких  $t$  або більш тривалих інтервалів часу. Це зумовлює збільшення часу витримки при ізотермічному відпалі порівняно зі сталлю 20ХН, оскільки переохолоджений аустеніт повільніше перетворюється на перліт.

Таким чином, якщо для сталі 20ХН час витримки ( $\tau_{\text{вит}}$ ) при ізотермічному відпалі становить приблизно 2 год., то для сталі 20ХНР з урахуванням впливу

									Арк.
									42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ				

бору доцільно прийняти  $\tau_{\text{виг}} = (2-3)$  год.. Збільшення  $\tau$  витримки дозволяє досягти повного перетворення аустеніту, формування однорідної ферито-перлітної структури та стабільної твердості, що забезпечує оптимальні технологічні властивості заготовок для подальшої механічної обробки та ТО рейок. Тому приймаємо  $\tau_{\text{виг}} = 2,5$  год..

5. Охолодження після витримки з піччю до  $t = 100$  °С і далі охолодження на повітрі.

### 3.4.2 Цементация рейки

Оскільки для відповідальних деталей, таких як рейки, необхідно забезпечити одночасно високу поверхневу твердість (HRC 58–60) і в'язку серцевину, вибір падає на застосування ХТО. Саме цим методом можна значно зміцнити більшість відповідальних, важконавантажених деталей, забезпечивши їм високу механічну міцність та довговічність у роботі. Головними перевагами ХТО є можливість досягнення надзвичайно високих меж витривалості при вигині — до 1000 МПа, а також при контактних навантаженнях — до 2300 МПа, а також значно підвищується зносостійкість деталей.

Перед проведенням цементации особливу увагу необхідно приділяти підготовці поверхні виробів: деталі повинні бути абсолютно сухими та чистими, без будь-яких залишків мастила, жиру або мастильно-охолоджувальних рідин. Тому на попередньому етапі їх промивають у гарячому мильному розчині, після чого сушать потоком гарячого повітря. У великосерійному та масовому виробництві найчастіше застосовують цементацию у газовому середовищі, оскільки цей метод забезпечує рівномірне насичення поверхневого шару вуглецем.

При цементации важливо захистити окремі поверхні виробу від надмірного насичення С. Одним із найбільш економічних і простих способів ізоляції є двократне нанесення на поверхню пасти на основі рідкого скла з наступною сушкою при  $t = (100-120)$  °С. Товщина шару такого ізоляційного

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

покриття зазвичай становить  $h = (1,0-2,0)$  мм. Однак цей спосіб не завжди забезпечує достатню надійність захисту, тому для критичних деталей використовують більш надійний метод — обміднення поверхні перед цементацією.

Під час проведення процесу цементації рейок заготовки спочатку нагрівають до температурного діапазону  $t = (890-960)^\circ\text{C}$  у спеціально контрольованій атмосфері, яка містить вуглецеві гази, необхідні для насичення поверхневого шару сталі вуглецем. Для сталі 20ХНР нагрів проводять до точно визначеної температури  $t = 930^\circ\text{C}$  у контрольованому середовищі на основі ендогазу з додаванням природного газу у кількості  $(2,0-4,0)\%$ , що забезпечує рівномірне і стабільне насичення поверхневого шару вуглецем, а також запобігає утворенню небажаних дефектів у металі.

Тривалість витримки заготовки під час насичення визначається глибиною цементованого шару, який у даному випадку повинен становити  $h = (0,80\pm 0,30)$  мм [18-20]. Виходячи з таблиць, які дозволяють визначити час витримки залежно від товщини шару, встановлено, що для досягнення необхідної товщини шару час насичення має складати приблизно 2,5 год. Крім того, слід врахувати додатковий час, необхідний для нагріву садки до робочої температури, який триває близько  $\tau = 30$  хв.. Внаслідок цього сумарний час всього процесу цементації рейки становить орієнтовно  $\tau = 3$  год., що дозволяє забезпечити необхідну твердість поверхневого шару, а також високі механічні властивості серцевини за умов правильно проведеного ТП.

Після завершення процесу цементації рейок проводиться охолодження заготовок у спеціально організованому контрольованому коридорі, де підтримується захисна атмосфера, утворена продуктами згоряння газів, до температури близько  $t = 400^\circ\text{C}$ . Після цього заготовки піддають нагріванню під гартування до температури  $t = 800^\circ\text{C}$ , витримуючи їх при цій  $t$  протягом приблизно 30 хв., що забезпечує повне досягнення гомогенної аустенітної структури.

Далі заготовки охолоджують у гарячому маслі, що забезпечує швидке і

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівномірне гартування, причому час перебування в гартівному баку становить близько  $\tau = 15$  хв., достатніх для формування міцного мартенситного шару. Після цього рейки піддають попередньому очищенню, промиваючи їх у гарячому мильному розчині протягом  $\tau = (5-10)$  хв., щоб видалити залишки масла, мастильно-охолоджувальної рідини та інших забруднень.

Наступним етапом є низькотемпературна відпустка при  $t = 190^{\circ}\text{C}$ , яку проводять протягом  $\tau = 2$  год., що дозволяє зняти внутрішні напруження та забезпечує оптимальні фізико-механічні властивості сталі: високу в'язкість серцевини та необхідну твердість поверхневого шару. Після відпустки деталі охолоджують на повітрі до температури навколишнього середовища, завершуючи таким чином комплексну термообробку рейок для забезпечення їх довговічності та високої працездатності під навантаженнями.

### 3.4.3 Деформація рейок при термічній обробці

Під час ТО рейок відбуваються різного роду деформації, які пояснюються 2-ма основними причинами: по-перше, це структурні перетворення в металі, які супроводжуються зміною об'єму фаз; по-друге, виникнення теплових напружень під час нагрівання та охолодження, що призводить до зміни форми рейок.

Особливо важливою ця проблема є для рейок масового виробництва, оскільки вони не проходять додаткову механічну обробку зубів після ХТО. Тому всі зусилля технологів спрямовані на те, щоб максимально обмежити деформації під час цементації, загартування та відпустки.

Величина деформації безпосередньо визначає точність зачеплення зубів, що впливає на рівень шуму в роботі передачі і на довговічність рейок під час експлуатації. Для зменшення деформацій застосовують такі основні заходи:

1. Вибір оптимальної структури заготовки перед ХТО, що забезпечує мінімальні внутрішні напруження.
2. Контроль  $t$  нагріву та швидкості охолодження під час  $\tau$  гартування,

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

щоб уникнути нерівномірного розподілу теплових напружень.

3. Рівномірна фіксація та підтримка заготовки у спеціальних пристроях під час ТО для зменшення вигину та скручування.

4. Використання ізолюючих та захисних покриттів на непотрібних поверхнях, що допомагає знизити локальні температурні градієнти.

5. Застосування низькотемпературної відпустки після гартування для зняття залишкових напружень без значного впливу на твердість поверхні.

6. Якісна попередня обробка заготівок.

Дослідження показують, що однією з головних причин деформацій рейок є залишкові внутрішні напруження, які виникають під час механічної обробки різанням. Особливо виражені ці напруження, якщо зуби нарізують затупленим або неякісним інструментом, а початкова структура заготовки не забезпечує оптимальних умов для різання. Саме тому, особливо в умовах масового виробництва, надзвичайно важливо створювати однорідну та рівномірну структуру заготовки перед остаточною обробкою. Досягти цього можна шляхом ПТО, яка забезпечує необхідну ферито-перлітну структуру та мінімізує внутрішні напруження, тим самим знижуючи ймовірність деформацій під час остаточного загартування.

7. Застосування безпосереднього гартування з підстуджуванням.

Встановлено, що безпосереднє гартування з підстуджуванням значно зменшує деформацію деталей порівняно з класичним методом, який передбачає повторний нагрів. Використання цього способу дозволяє скоротити деформації приблизно у (1,5–2,0) рази, оскільки виключається додаткове термічне навантаження на заготовку, і зменшується інтенсивність виникнення теплових напружень.

8. Ступінчасте гартування в гарячому середовищі.

Ще одним ефективним методом зменшення деформацій є ступінчасте гартування рейок у гарячому маслі або спеціальних розплавах солей. У цьому випадку охолодження здійснюється в середовищі з температурою  $t = (150–190) \text{ }^\circ\text{C}$ , що приблизно на  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  вище за температуру початку мартенситного

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перетворення для цементованих сталей. Такий режим дозволяє знизити деформацію деталей у (1,5–2,0) рази у порівняно зі звичайним гартуванням у холодному маслі, оскільки ступінчасте охолодження забезпечує більш рівномірний розподіл температури по перетину деталі і зменшує термічні градієнти.

#### 9. Обмеження маси садки та правильне розміщення деталей.

Для зменшення деформацій під час ХТО важливо обмежувати масу заготовок на піддоні, зазвичай не > 100 кг, щоб уникнути продавлювання нижніх рейок під власною вагою. Окрім цього, правильне розташування деталей у спеціальних пристосуваннях або на піддонах дозволяє забезпечити рівномірний нагрів, насичення вуглецем та охолодження всіх рейок одночасно. Таке розміщення гарантує сталість положення рейок протягом усього циклу ХТО, що зменшує ризик перекосів та нерівномірного гартування, а також підвищує точність та однорідність отриманого цементованого шару.

10. Гартування в штампах. Деякі деталі, особливо ті, які мають складну конструкцію та великі розміри, дуже чутливі до деформацій під час нагріву і охолодження. У таких випадках забезпечити точну форму та мінімальні викривлення можна лише шляхом гартування у примусово зафіксованому положенні, тобто в спеціальних штампах гартівних пресів. Штампи утримують деталь у потрібному положенні під час охолодження, запобігаючи вигинам, перекосам та іншим деформаціям.

Загальна інформація про режими ТО деталей зі сталі 20ХНР наведена у табл. 3.5 [17-20].

**Таблиця 3.5 – Режими ТО деталей зі сталі 20ХНР**

Операція	t, °C	Охолоджуюче середовище	HRC
Цементация	930	Охолодження повільне в колодязях або ящиках	серцевина
Гартування	820-840	Масло	36-46
Відпустка	180-200	Повітря	56-62

Послідовність операцій обробки рейки, виготовленого зі сталі 20ХНР, із зазначенням температур нагріву, мікроструктури та охолоджуючих середовищ:

1. Цементация. Рейку нагрівають у безповітряному середовищі до  $t = (930-950) \text{ }^\circ\text{C}$  у карбюризаторі. При цьому сталевий поверхневий шар насичується вуглецем до  $(0,8-1,0) \%C$ , тоді як серцевина зберігає низький вміст  $C - (0,12-0,32) \% C$ . Витримка при цій  $t$  триває декілька годин, щоб забезпечити рівномірне насичення поверхні, після чого проводиться повільне охолодження до безпечної температури для наступної обробки. В результаті цементації метал набуває фактично двошарової структури: поверхневий шар з підвищеною твердістю і зносостійкістю, а серцевина – більш м'яка і в'язка.

2. Механічна обробка. Після цементації проводиться чорнова або чистова обробка для формування точних геометричних розмірів рейки та підготовки її до гартування.

3. Гартування. Після механічної обробки рейку нагрівають до  $t = (800-850) \text{ }^\circ\text{C}$ , а потім охолоджують у гарячому маслі або спеціальному середовищі. Це забезпечує перетворення аустеніту поверхневого шару в мартенсит, при цьому серцевина залишається відносно в'язкою і пластичною.

4. Висока відпустка. Для зменшення внутрішніх напружень і забезпечення оптимальної комбінації твердості та в'язкості рейку піддають відпустці при високій температурі  $t = (180-220) \text{ }^\circ\text{C}$ , після чого охолоджують на повітрі. Це забезпечує довговічність поверхневого шару і зменшує крихкість мартенситу.

5. Остаточна механічна обробка. Після завершення ТО проводиться чистова механічна обробка для досягнення заданих точних розмірів, шорсткості поверхні та геометрії рейки.

В результаті тривалої витримки рейки при високій температурі під час цементації відбувається перегрівання металу, що супроводжується зростанням зерна сталі. Це може негативно впливати на твердість і зносостійкість поверхневого шару, а також на механічні властивості серцевини. Для того, щоб забезпечити високу твердість цементованого шару, достатню в'язкість та

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

міцність серцевини, а також формування мілкоголчастого мартенситу у поверхневому шарі, після цементації деталь піддають подальшій ТО – гартуванню.

Основною метою гартування сталі є отримання високої твердості та міцності, що досягається за рахунок утворення в металі нерівноважних структур, таких як мартенсит, троостит та сорбіт.

Гартування з самовідпуском передбачає, що нагріту деталь занурюють у робочу рідину (гартівне середовище) лише частково, тобто не до повного охолодження всієї деталі. Під час цього процесу тепло від неробочої частини деталі, яка не контактувала з гартівною рідиною, передається робочій частині, підвищуючи її температуру. Температуру відпустки при цьому способі визначають за кольорами оксидної плівки, що утворюється на поверхні сталі при нагріванні, і вона зазвичай лежить у межах  $t = (220-300) \text{ }^\circ\text{C}$ .

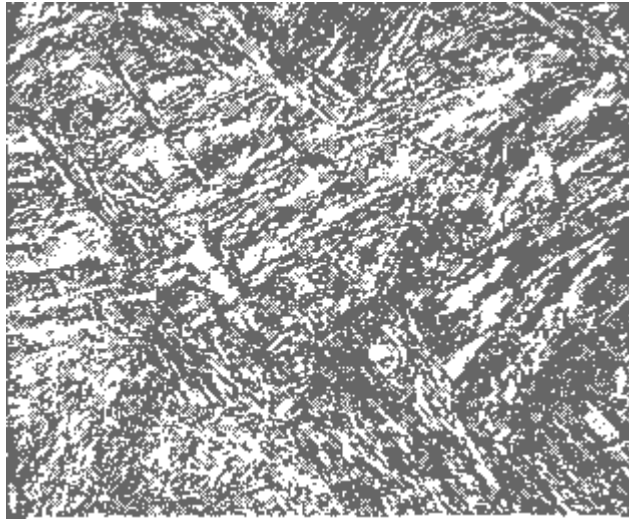
Відпустка при нижчих температурах,  $t = (180-200) \text{ }^\circ\text{C}$ , застосовується для зняття внутрішніх напружень, стабілізації структурного стану матеріалу, підвищення його в'язкості та пластичності, а також зменшення твердості та крихкості загартованої сталі.

Основна мета такого режиму ТО — отримати структуру мартенситу відпустки і одночасно частково знизити внутрішні напруження, що підвищує в'язкість без значного зниження твердості. У результаті поверхневий шар рейки набуває структури мілкоголчастого мартенситу (рис. 3.2) з вкрапленнями надмірного цементиту, а серцевина — дрібнозернистий ферит з перлітом, що забезпечує необхідну комбінацію високої твердості поверхні та в'язкої, міцної серцевини.

Механічні властивості сталі після ТО:

- твердість HRC 56-62 (поверхні), HRC 36-46 (серцевини);
- гранична міцність  $\sigma_b = 578 \text{ Н/мм}^2$ .

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



**Рисунок 3.2 – Мікроструктура мартенситу**

### **3.4.4 Вибір устаткування для термічної обробки рейки**

Використання сучасного, високопродуктивного та надійного в роботі обладнання дає можливість значно зменшити собівартість виконання технічного обслуговування і холодної ТО на проєктованій термічній дільниці. Також це сприяє підвищенню загальної продуктивності праці та забезпечує стабільно високу якість готової продукції, що особливо важливо для серійного та ремонтного виробництва.

Устаткування, яке застосовується на дільниці, можна умовно поділити на три основні групи:

- основне обладнання, яке безпосередньо бере участь у процесах нагрівання та подальшого охолодження виробів;
- додаткове обладнання, призначене для реалізації супутніх технологічних операцій;
- допоміжне обладнання, до якого належать установки для приготування контрольованих атмосфер, карбюризатора, а також теплоенергетичні агрегати.

До основного обладнання відносяться печі, нагрівальні установки та пристрої, а також апарати для охолодження деталей, оскільки вони безпосередньо забезпечують виконання основних ТП ТО. Для реалізації операції нормалізації в проєкті обрано камерну електричну піч типу СНЗ-

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

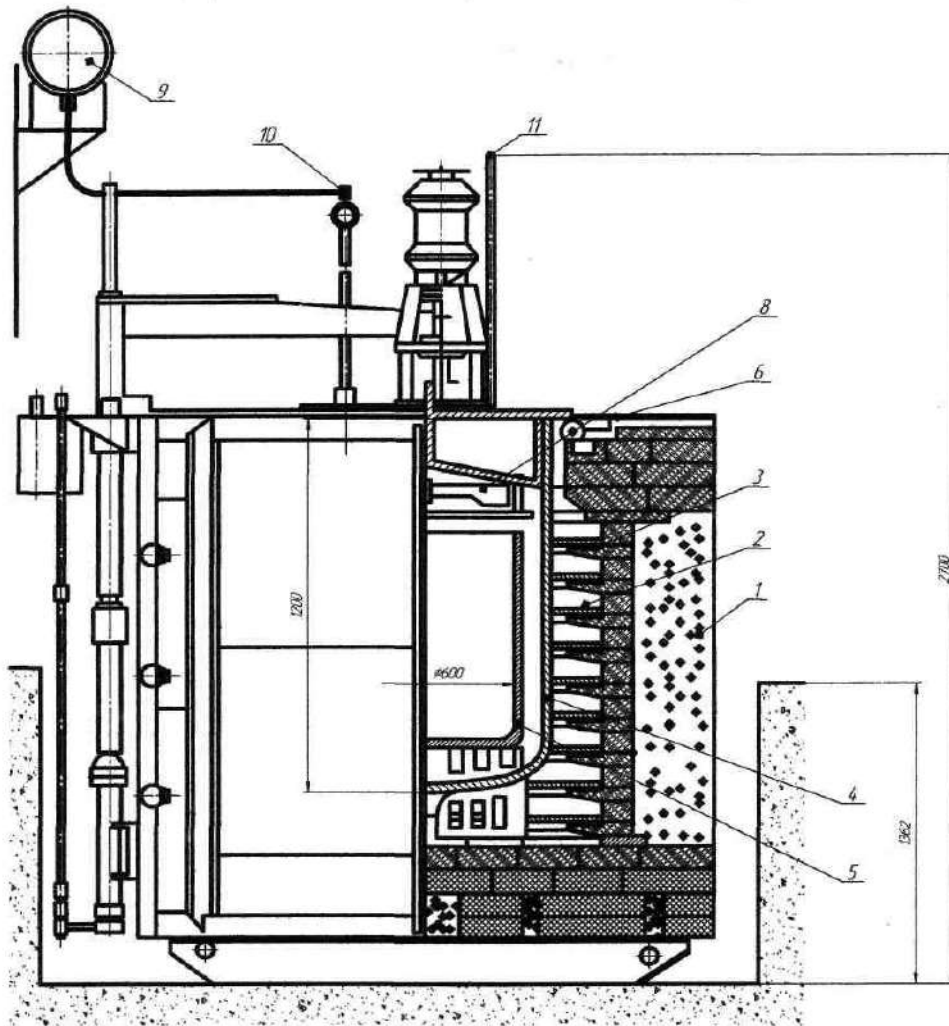
8.16.5/10 (рис. 3.3), яка має достатній об'єм робочого простору та забезпечує необхідні параметри температури і часу нагрівання [23, 24].



**Рисунок 3.3 – Камерна електрична піч СНЗ - 8.16.5/10 [23]**

Перед початком ТО рейки завантажують у піч, попередньо розміщуючи їх на спеціальному піддоні, що забезпечує зручність обслуговування, рівномірний прогрів та запобігає механічним пошкодженням поверхні. Операції цементації та подальшого гартування безпосередньо з цементаційного нагріву виконуються в шахтній муфельній печі типу СШЦМ-6.12/9, яка призначена для тривалої роботи у контрольованому температурному режимі. Такий тип печі дозволяє забезпечити стабільність ТП, однорідність насичення поверхні С та отримання необхідної твердості шару. Конструктивна схема і принцип роботи шахтної муфельної печі СШЦМ-6.12/9 наведені на рис. 3.4.

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



**Рисунок 3.4 - Шахтна муфельна цементаційна піч СШЦМ - 6.12/9:**

1 - каркас металевий; 2 - камера нагрівальна; 3 - елемент нагрівальний; 4 - реторта жаротривка; 5 - кошик для деталей; 6 - кришка; 7 - механізм гідравлічний; 8 - вентилятор; 9 - бачок для рідини; 10 - кран регулювальний; 11 - отвір для відпрацьованого газу

Основні складові шахтної муфельної печі мають наступне конструктивне позначення:

1 – металевий каркас, який забезпечує жорсткість і механічну стійкість всієї установки;

2 – нагрівальна камера, у якій створюється заданий температурний режим;

3 – нагрівальний елемент, який перетворює електричну енергію в

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

теплову;

4 – жаротривка реторта, яка захищає робочий простір від дії полум'я та забезпечує герметичність газового середовища;

5 – кошик для деталей, призначений для зручного завантаження та розміщення рейок у печі;

6 – кришка, яка герметизує камеру та утримує тепло;

7 – гідравлічний механізм, який полегшує піднімання та опускання кришки;

8 – вентилятор, який забезпечує циркуляцію повітря або контрольованої атмосфери всередині печі;

9 – бачок для рідини, який використовується при необхідності для охолодження чи подачі технологічних складників;

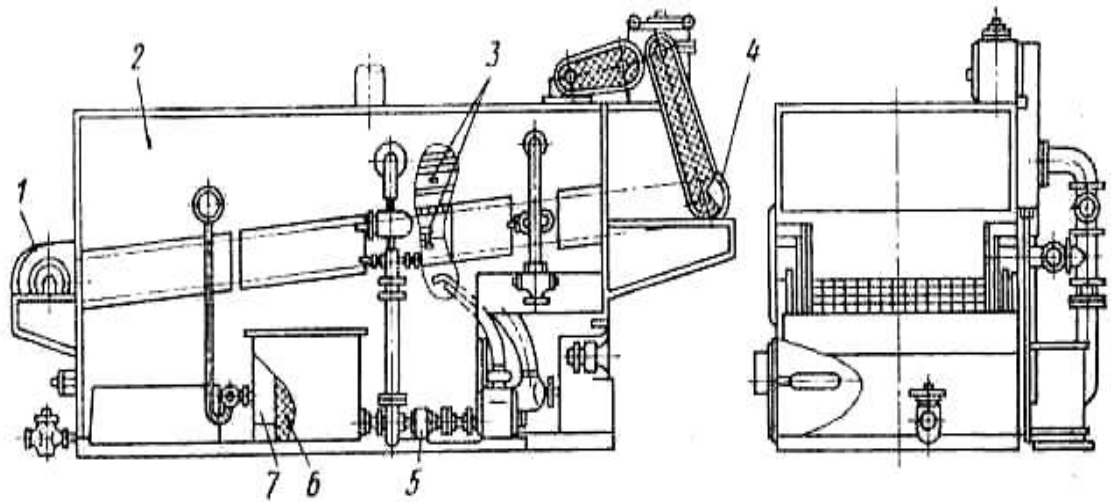
10 – регулювальний кран для контролю подачі рідини або газів;

11 – отвір для відведення відпрацьованих газів, що гарантує безпечний та безперервний режим роботи установки.

Для виконання операції охолодження рейок після нагрівання використовується вертикальний гартівний бак, обладнаний поворотною траверсою, що полегшує завантаження та вивантаження виробів. Габаритні розміри бака становлять: діаметр  $\varnothing 1200$  мм та висота  $h = 2500$  мм, що дає змогу розміщувати у ньому партії деталей різних розмірів.

Після гартування в маслі поверхня рейок містить залишки мастильного середовища, тому перед проведенням відпуску їх необхідно очищати. Для видалення масла рейки промивають у гарячому (80–90) °С 10 % водному розчині  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Процес очищення здійснюється за допомогою конвеєрної мийної машини ММК (рис. 3.5), яка забезпечує автоматизоване та рівномірне промивання, або вручну в металевому баку  $\varnothing 1200$  мм і висотою  $h = 2000$  мм. Для забезпечення якісного перемішування розчину до бака подається стиснене повітря, що покращує видалення масляних залишків із поверхні рейок.

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



**Рисунок 3.5 – Конвеєрна мийна машина ММК:**

1 – конвеєр; 2 – кожух; 3 – бризкальні трубки; 4 – ведучий вал; 5 – насос;  
6 – фільтр; 7 – бачок

До складу агрегату входить наступне обладнання:

- безмуфельна піч для газової цементації, яка забезпечує рівномірне насичення поверхневого шару вуглецем;
- охолоджувальний коридор із контрольованою атмосферою, що дозволяє здійснювати стабільне та контрольоване охолодження деталей;
- печі для гартування, які підтримують необхідну  $t$  та швидкість нагріву;
- механізований гартівний бак, який забезпечує рівномірне і прискорене охолодження рейок;
- мийно-сушильна установка для очищення рейок перед подальшою обробкою;
- відпускна піч, яка забезпечує отримання заданої твердості та в'язкості сталі;
- транспортні засоби, які переміщують рейки між різними операціями обробки.

Деталізуємо вищенаведене. Мийна машина ММК обладнана герметичним водонепроникним кожухом 2, всередині якого розташований конвеєр 1. Транспортер складається зі штампованих ланок з отворами, через які вільно стікає відпрацьований мийний розчин. У нижній частині конструкції

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

розміщується збірний бак, куди надходить рідина після промивання рейок.

Зовні корпусу встановлені бачок 7 з фільтром 6, а також насос 5, який приводиться в дію електродвигуном. Після того як рейки промиті, мийний розчин проходить очищення через фільтр, після чого насос знову подає його до бризкальних трубок 3, забезпечуючи безперервну циркуляцію.

Підігрів розчину здійснюється за допомогою пари, яка надходить у змішувач, або завдяки трубчастим електричним нагрівачам. Витрата пари коливається в межах від 6 до 25 кг/год/, а робоча  $t$  розчину підтримується на рівні близько  $t = 80$  °С, що дозволяє ефективно видаляти залишки масла та забруднень із поверхні деталей.

Приведення в рух стрічки конвеєра мийної машини здійснюється за допомогою електродвигуна, який через редуктор та храповий механізм передає обертання на ведучий вал 4 зі встановленими на ньому приводними зірочками. Така кінематична схема забезпечує рівномірне та безперервне переміщення рейок уздовж мийної камери.

Продуктивність машин ММК залежно від модифікації становить від 160 до 640 кг деталей на год., що дозволяє застосовувати їх як у дрібносерійному, так і в потоковому виробництві. Якщо мийна машина входить до складу гартівно-відпускнуго агрегату, рейки після завершення промивки автоматично подаються на конвеєр відпускнуго печі, що забезпечує безперервність ТП. В інших випадках, коли установка працює автономно, очищені рейки зсипаються у підставлену тару або приймальний контейнер, звідки їх можна транспортувати на наступну операцію.

У масовому виробництві для проведення ТО рейок використовують механізовані та автоматизовані поточні лінії та агрегати, що дозволяє дотримуватися встановленого ТП, мінімізувати ручну працю, знизити витрати енергії, скоротити собівартість обробки, одночасно забезпечуючи стабільно високу якість продукції.

ТО рейок згідно з обраним режимом слід виконувати на поточному цементацийно-загартувальному агрегаті зі штовхальним транспортером, який

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оснащений уніфікованим обладнанням, що забезпечує однакові умови нагріву, насичення та охолодження для всіх рейок, що обробляються.

Використання такого обладнання дозволяє підтримувати стабільний температурний режим, рівномірно розподіляти тепло та контролювати процес дифузії вуглецю. Це, у свою чергу, гарантує формування необхідної мікроструктури сталі, забезпечуючи оптимальні механічні властивості як у поверхневому шарі, так і в серцевині рейки. Завдяки поточним агрегатам досягається висока виробнича ефективність, надійність процесу та безпека праці, а також стабільна якість обробки великої кількості рейок одночасно.

### 3.5 Контроль якості цементованих рейок

Контроль якості цементованих рейок передбачає комплексну перевірку їхніх фізико-механічних характеристик, що дозволяє оцінити відповідність готових виробів технічним вимогам та умовам експлуатації. До основних параметрів, які підлягають випробуванню, належать міцність на згин та стиск, показники рівномірності зміни об'єму. Додатково контролюють тонкість помелу цементу та нормальну густоту цементного тіста, оскільки ці властивості впливають на щільність і міцність шару цементациї.

Для виконання таких випробувань застосовують уніфіковані стандартні методики, детально описані у чинних державних стандартах та технічних регламентах. Використання цих норм дозволяє забезпечити стабільність параметрів, порівнянність результатів та гарантовану надійність цементованих рейок під час роботи в реальних умовах.

Контроль якості рейок після проведення технічного обслуговування та ХТО здійснюється за допомогою спеціальних зразків-свідків, які відбирають одночасно з основних виробів. З цих зразків готують шліфи, що дозволяє проводити мікро- та макроаналіз структури матеріалу, оцінюючи рівномірність та якість обробки. Для контролю твердості після гартування застосовується спеціалізований прилад, такий як твердомір Роквелла ТК-2, який працює за

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шкалою HRC. Використання такого методу забезпечує точну оцінку механічних властивостей матеріалу та дозволяє своєчасно виявляти відхилення від встановлених нормативів, що є критично важливим для безпеки та надійності роботи рейок у складі седана.

Контроль якості цементованих рейок включає комплексну перевірку фізико-механічних і хімічних характеристик поверхневого шару та серцевини деталі. Таким чином [25], контроль якості цементованих рейок зводиться до визначення товщини шару, твердості поверхні й серцевини, мікроструктури, вмісту С в шарі. Основні параметри контролю включають:

1. Товщина цементованого шару — визначається переважно на зразках-свідках, що дозволяє оцінити рівномірність насичення С.

2. Твердість — поверхнева твердість повинна бути HRC 58–60, серцевини — HRC 30–40, що гарантує оптимальне поєднання зносостійкості та пластичності.

3. Мікроструктура (досліджують у лабораторії)— у шарі перевіряють дисперсність мартенситу, кількість залишкового аустеніту, форму та рівномірність розподілу карбідів.

4. Хімічний склад — визначають вміст С за допомогою пошарового хімічного або спектрального аналізу; оптимальним є вміст С на поверхні складає (0,8–0,9) %.

Для оцінки товщини шару, твердості та мікроструктури все частіше застосовуються методи неруйнівного контролю, що дозволяють зберегти цілісність деталей. Об'єм і глибина контролю визначаються технічними вимогами та характеристиками використовуваного обладнання, зокрема його стабільністю та точністю роботи, що забезпечує високу достовірність результатів випробувань.

Під час контролю мікроструктури цементованих рейок слід враховувати, що після ХТО поверхневий шар повинен містити переважно мартенсит з невеликою часткою залишкового аустеніту. Нормативами передбачено, що кількість залишкового аустеніту у цементованому шарі не повинна

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевищувати 25 %, оскільки його надмірна частка погіршує твердість, зносостійкість та стабільність геометричних розмірів.

У серцевині цементованих рейок мікроструктура має формуватися з бейніту або маловуглецевого мартенситу, що забезпечує достатню в'язкість, міцність та опір ударним навантаженням. Межі допустимих відхилень структури цементованого шару встановлюють за заводськими шкалами бальності, які розробляються індивідуально під конкретні умови виробництва та експлуатаційні вимоги до виробу. Це дозволяє забезпечити стабільну якість рейок і відповідність їх механічних властивостей технічним вимогам.

### 3.6 Види браку при цементациї рейок та способи їх усунення

Види браку при цементациї рейок та способи їх усунення наведені у табл. 3.2.

**Таблиця 3.2 – Види браку при цементациї рейок та способи їх усунення**

Вид браку	Причини виникнення	Способи усунення
Надмірно велика глибина цементованого шару	Завищена тривалість витримки при цементациї; висока температура цементациї; нерівномірна температура в печі	Усунути причини, які викликають брак; при завищеній h цементациї брак непоправний
Занижена h цементованого шару	Недостатня $\tau$ витримки при цементациї; занижена t цементациї; застосування слабкого вуглецевого потенціалу; нерівномірна температура в печі	Дотримання ТП
Підвищена концентрація С в цементованому шарі	Застосування сильного вуглецевого потенціалу; завищена тривалість витримки при цементациї	Те саме
Знижена концентрація С в цементованому шарі	Застосування слабкого вуглецевого потенціалу	Ретельне дозування цементуючих речовин
Нерівномірна h цементованого шару	Зажирена і брудна поверхня рейок; відкладення сажі при газовій цементациї	Очищення поверхні рейок перед цементациєю; ретельне дозування цементуючих речовин

Крихкість (відшаровування поверхневого шару)	Застосування активного вуглецевого потенціалу; завищена тривалість витримки	Зниження активності вуглецевого потенціалу; дотримання ТП
Трооститна смуга або сітка	Внутрішнє окислення; недостатнє насичення поверхні вуглецем; недостатня швидкість охолодження при гартуванні	Дотримання ТП.
Сітка цементиту	Нерівномірний вуглецевий потенціал при насиченні	Підтримка необхідного вуглецевого потенціалу атмосфери
Високий вміст залишкового аустеніту	Неправильна ТО. Неоптимальний режим цементації (перенасичення поверхневого шару вуглецем, завищена t цементації або наступного гартування)	Підібрати правильний режим ТО
Виділення фериту у вигляді сітки або окремих включень	Неякісна початкова структура	Правильний вибір температурно-тимчасових режимів гарячої пластичної деформації і наступного охолодження рейок, підвищення t і $\tau$ нагріву при цементації або гартуванні, збільшення швидкості охолодження при гартуванні

## 4 Моделювання напружено-деформованого стану рейки за допомогою SW Simulation

### 4.1 Дослідження працездатності рейки після цементациї

У системах інженерних розрахунків та аналізу центральне місце займають програми моделювання полів фізичних величин, передусім це програми аналізу міцності за МСЕ. До лідерів цих програм відносять програмний комплекс SW та його додаток SWS.

Дослідимо працездатність рейки (рис. Б2). після цементациї. Створимо у SW геометричну модель рейки (рис. 4.1).

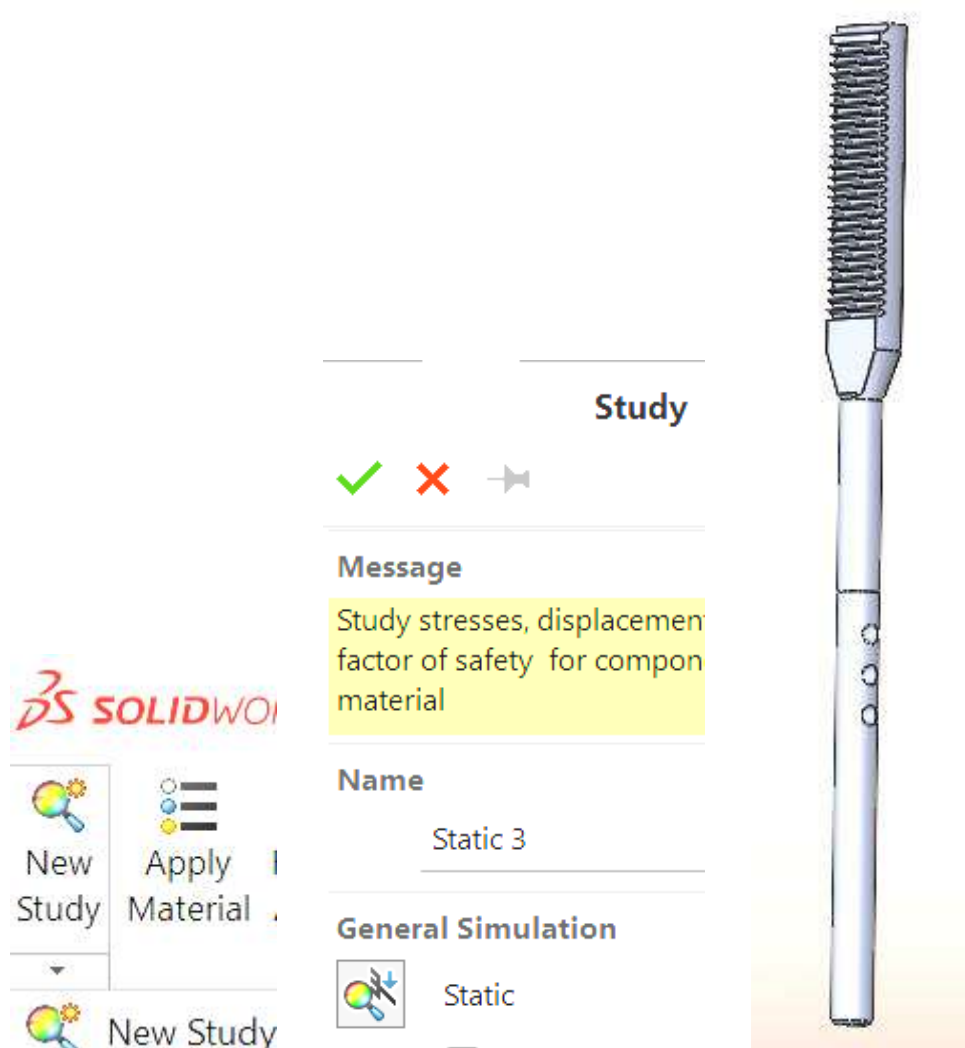


Рисунок 4.1 – Методика створення у SW 3D-моделі рейки

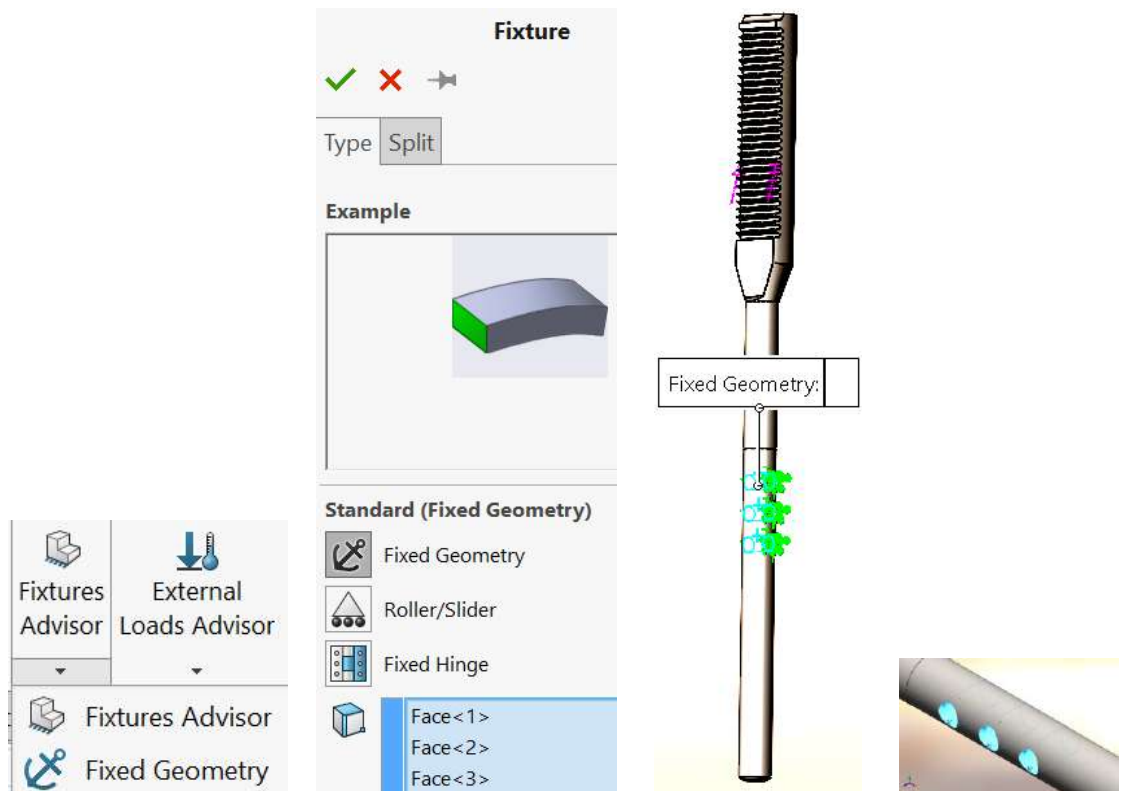
Вибираємо матеріал рейки з бібліотеки SW – сталь 20ХНР цементована (рис. 4.2).

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Property	Value	Units
Elastic Modulus	1.9e+11	N/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.28	N/A
Shear Modulus	7.9e+10	N/m <sup>2</sup>
Mass Density	7800	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	1000825984	N/m <sup>2</sup>
Compressive Strength		N/m <sup>2</sup>
Yield Strength	720594000	N/m <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	1.1e-05	/K
Thermal Conductivity	14	W/(m·K)
Specific Heat	440	J/(kg·K)

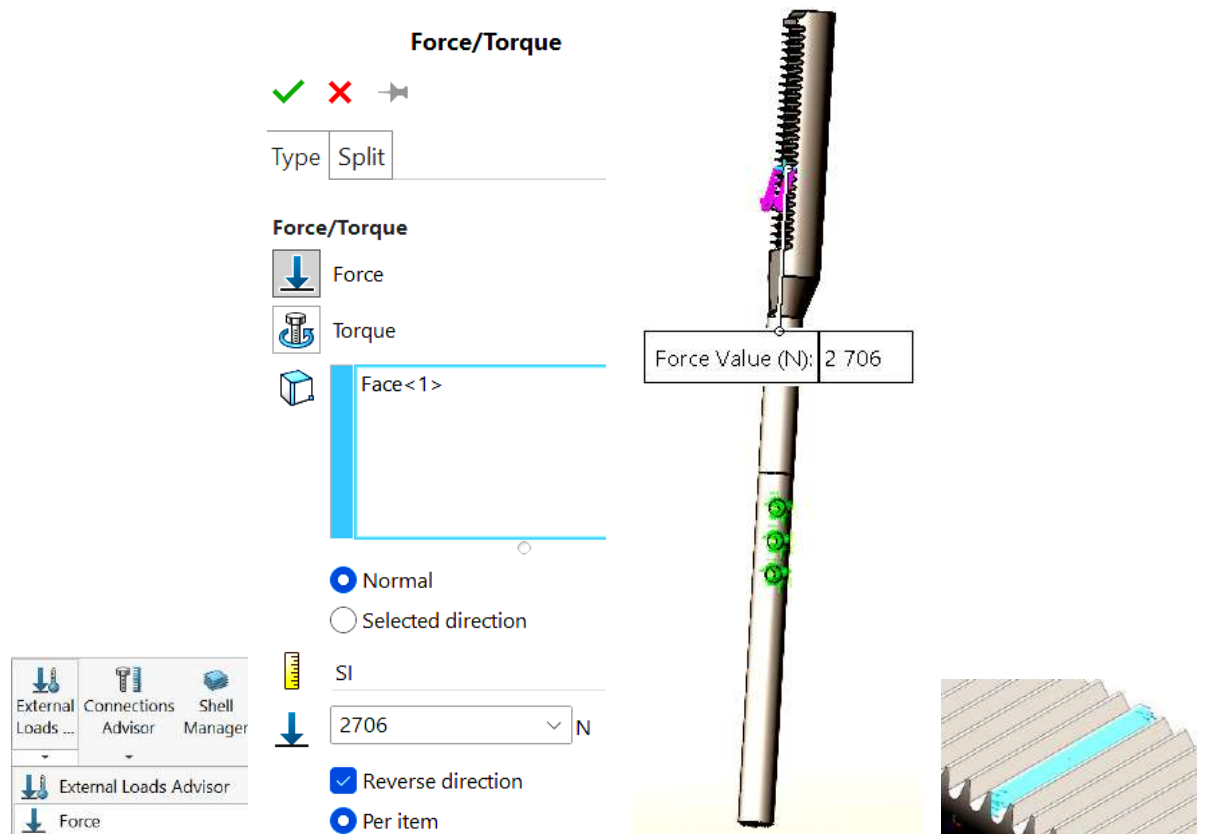
**Рисунок 4.2 – Призначення матеріалу рейки**

Проводимо дефініцію опор рейки (рис. 4.3).



**Рисунок 4.3 – Дефініція опор рейки**

Прикладаємо до рейки розраховане навантаження (рис. 4.4).



**Рисунок 4.4 – Прикладення навантаження до рейки**

Розбиття моделі на окремі СЕ (рис. 4.5), тобто формування повноцінної сітки СЕ для рульової рейки, є одним із ключових та найвідповідальніших етапів усього процесу розрахунку за МСЕ. Саме на цій стадії створюється дискретизована модель деталі, у якій суцільна геометрична форма перетворюється на сукупність великої кількості дрібних взаємопов'язаних елементів, які утворюють єдину структурну систему. Такий підхід дає змогу відтворити складну поведінку матеріалу під навантаженням, забезпечуючи можливість детального наближеного опису реального розподілу напружень, деформацій та локальних концентрацій у різних зонах рейки. Завдяки якісно побудованій сітці підвищується точність подальших розрахунків, а конструкція аналізується більш повно та надійно (рис. 4.6).

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

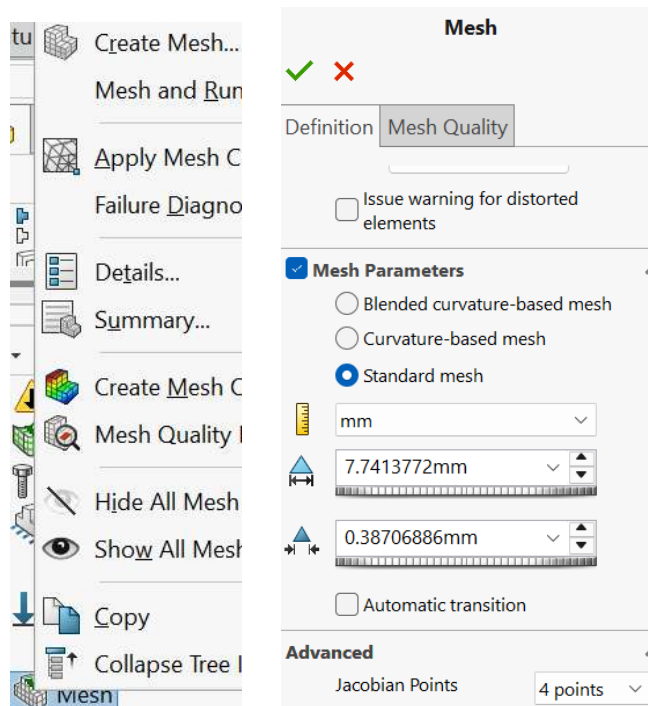


Рисунок 4.5 – Методика розділення моделі рейки на елементи

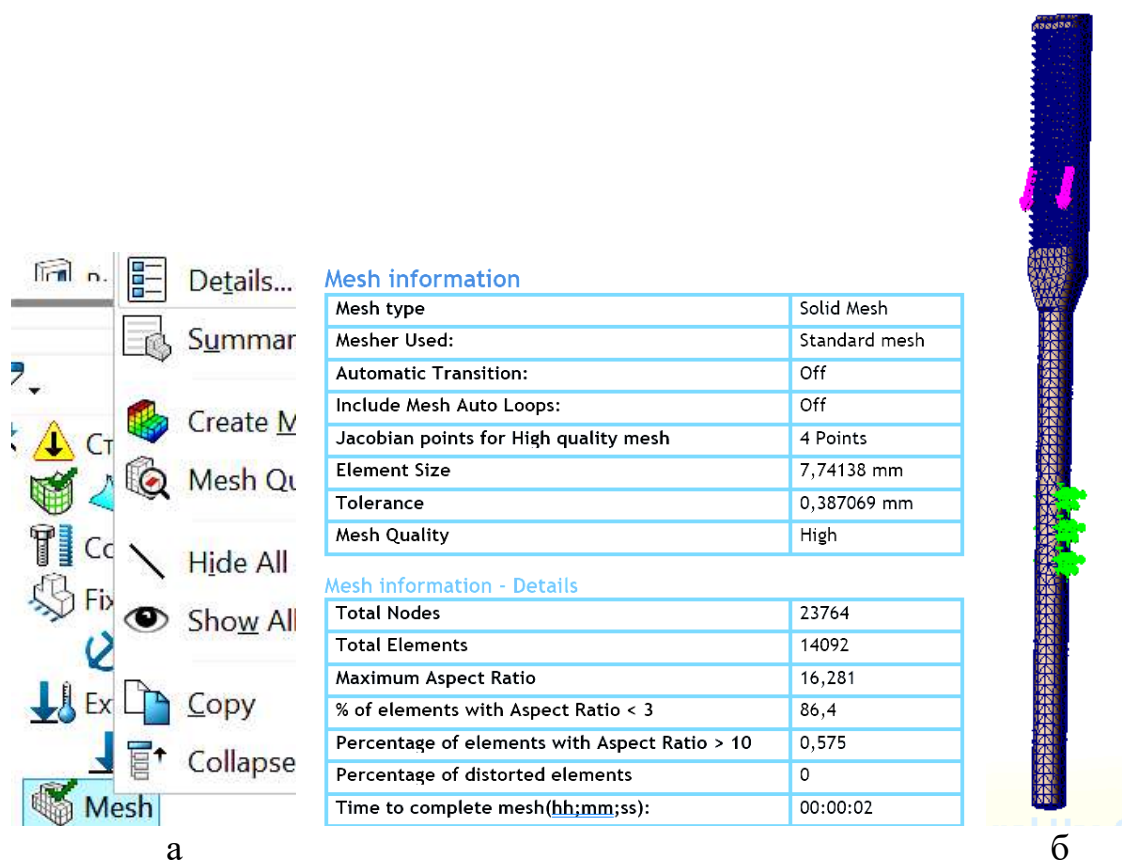
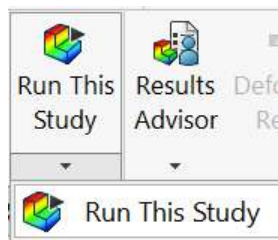


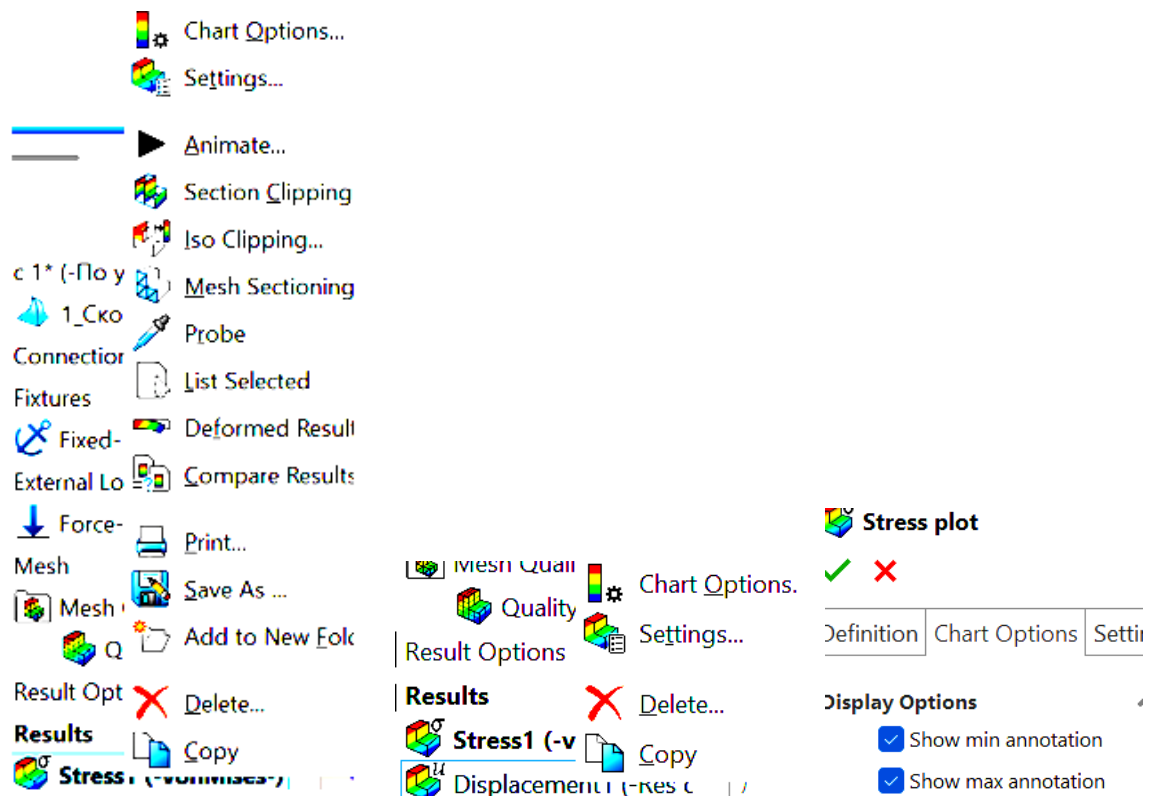
Рисунок 4.6 – Параметри сітки (а), її відображення на моделі рейки (б)

Для розрахунку НДС рейки запускаємо відповідний розрахунок (рис. 4.7).



**Рисунок 4.7 – Методика запуску розрахунку НДС рейки**

Для відображення крайніх значень досліджуваних міцнісних параметрів рейки вибираємо відповідні параметри (рис. 4.8):



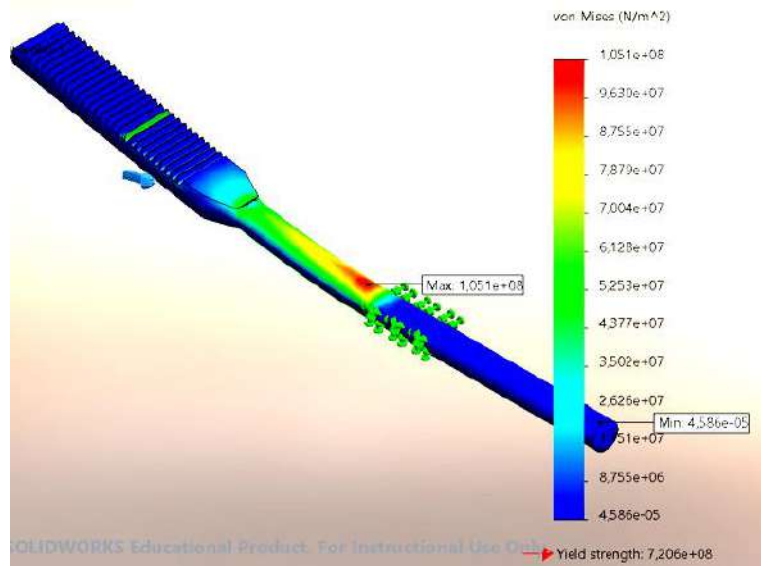
**Рисунок 4.8 – Методика вибору відображення крайніх значень досліджуваних параметрів рейки**

Розрахунками встановлені найбільші:

– напруження Von Mises, які виникають у цементованій рейці  $\sigma = 105,0$  МПа (вузол 834 – рис. 4.9);

					КВРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

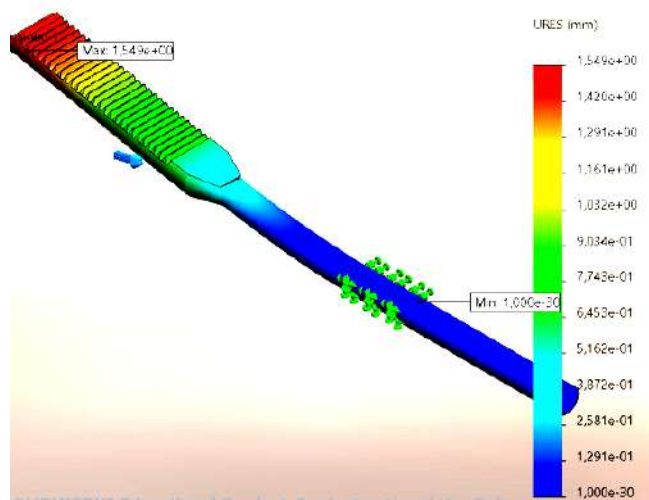
Type	Min	Max
VON: von Mises Stress	4,586e-05N/m <sup>2</sup> Node: 17805	1,051e+08N/m <sup>2</sup> Node: 834



**Рисунок 4.9 – Результуючі напруження Von Mises, які виникають у цементованій рейці**

– результуюче переміщення URES цементованої рейки  $h = 1,549$  мм (вузол 1101 – рис. 4.10);

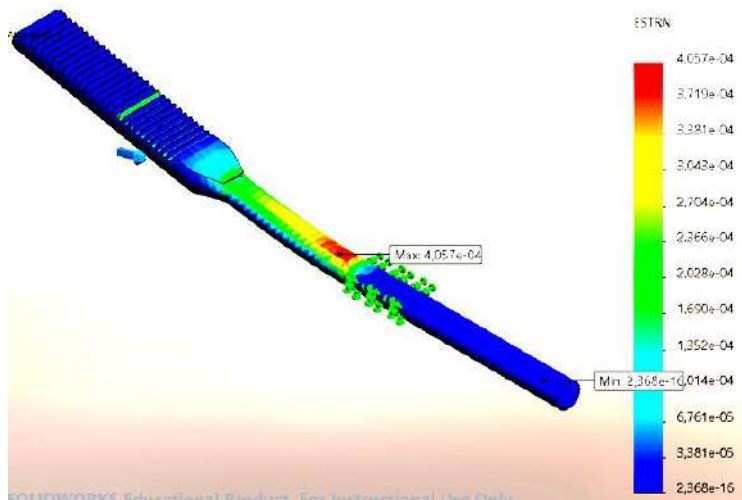
Type	Min	Max
URES: Resultant Displacement	0,000e+00mm Node: 1	1,549e+00mm Node: 1101



**Рисунок 4.10 – Результуючі переміщення URES цементованої рейки**

– максимальна еквівалентна деформація ESTRN цементованої рейки  $\delta = 0,0004557$  (елемент 13476 – рис. 4.10);

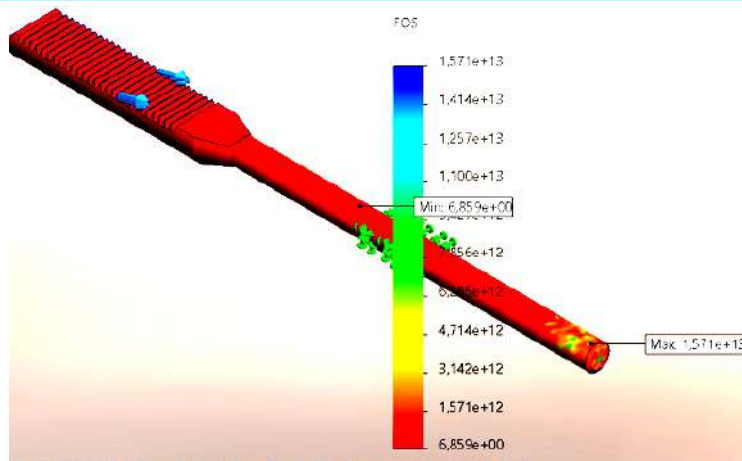
Type	Min	Max
ESTRN: Equivalent Strain	2,368e-16 Element: 5178	4,057e-04 Element: 13476



**Рисунок 4.11 – Результуюча еквівалентна деформація ESTRN цементованої рейки**

При цьому мінімальний запас міцності рейки після цементациї становить  $n_T = 6,859$ , що більше допустимого  $[n_T] = 3,0$  (рис. 4.11).

Type	Min	Max
Automatic	6,859e+00 Node: 834	1,571e+13 Node: 17805



**Рисунок 4.11 – Результуючі запаси міцності цементованої рейки**

Для створення звіту проведених розрахунків вибрали параметр Report (рис. 4.12).



### Report

Generates a Word report for the current analysis study.

**Рисунок 4.12 – Створення звіту розрахунків**

## 4.2 Дослідження працездатності рейки після гартування

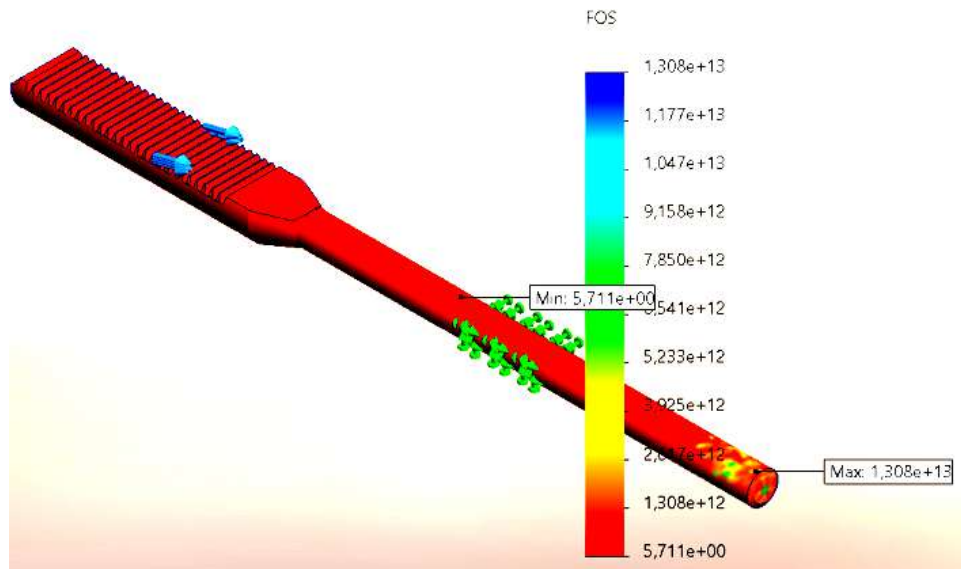
Властивості матеріалу загартованої рейки відображені на рис. 4.13.

Property	Value	Units
Elastic Modulus	1.9e+11	N/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.28	N/A
Shear Modulus	7.9e+10	N/m <sup>2</sup>
Mass Density	7800	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	800000000	N/m <sup>2</sup>
Compressive Strength		N/m <sup>2</sup>
Yield Strength	600000000	N/m <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	1.1e-05	/K
Thermal Conductivity	14	W/(m·K)
Specific Heat	440	J/(kg·K)

**Рисунок 4.13 – Властивості загартованої рейки**

В результаті повторного проведення статичного аналізу рейки (після гартування, а не після цементації) встановлений мінімальний запас міцності становить  $n_T = 5,711$ , що більше допустимого  $[n_T] = 3,0$  (рис. 4.14).

Type	Min	Max
Automatic	5,711e+00 Node: 834	1,308e+13 Node: 17805



**Рисунок 4.14 – Результуючі запаси міцності загартованої рейки**

Таким чином, встановлений мінімальний запас міцності рейки після гартування менший, ніж після цементації. Тому саме цементацію приймаємо для термічної обробки рейки кермового управління седана Daewoo Nubira III (j200).

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5 Технологічне планування виробничої дільниці з ремонту кермового управління седана

Технологічне планування виробничої дільниці, призначеної для виконання робіт з ремонту механізму кермового управління седана, є детально опрацьованим планом розміщення всього необхідного технологічного устаткування, виробничого інвентаря, підйомно-транспортних засобів та допоміжних пристроїв. Така схема розташування є складовою частиною технічної документації проєкту, відповідно до якої здійснюють установлення, монтаж і подальше налаштування всього обладнання на дільниці.

До складу технологічного устаткування входять як стаціонарні, так і переносні верстати, різноманітні стенди, вимірювальні та діагностичні прилади, спеціальні пристосування, а також виробничий інвентар, серед якого — верстаки, стелажі, робочі столи, металеві шафи та інші допоміжні елементи, необхідні для забезпечення безперервного та ефективного ремонтного процесу.

Під час проєктування дільниці передбачаємо використання технологічного обладнання для виконання електротехнічних та супутніх ремонтних робіт, після чого проводимо комплексну оцінку рівня механізації. Така оцінка включає визначення ступеня механізації та міри механізації окремих технологічних операцій. Базою для встановлення цих показників є всебічний аналіз ТП, послідовності операцій та обладнання, яке застосовується при виконанні кожного етапу. Це дозволяє оптимізувати процеси та підвищити загальну ефективність роботи виробничої дільниці (рис. Б5).

Нижче наведено перелік обладнання, яке відповідно до рекомендацій доцільно встановити на виробничій дільниці ремонту кермового управління (табл. 5.1).

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 – Рекомендоване устаткування на виробничій дільниці з коротким описом його призначення:

Назва устаткування	Призначення
Інструментальний стелаж	Зберігання ручного інструменту, приладів та оснащення для швидкого доступу.
Стелаж запасних частин	Організоване зберігання деталей та комплектуючих, необхідних для ремонту.
Ванна мийна	Очищення та знежирення деталей перед ремонтом або складанням.
Слюсарний верстак	Виконання основних слюсарних робіт — розбирання, складання, обробка деталей.
Верстат точильно-шліфувальний двосторонній	Заточування інструменту, шліфування та доведення дрібних металевих деталей.
Установка для діагностики	Перевірка технічного стану та працездатності вузлів кермового механізму.
Машина свердлувальна	Виконання свердління, зенкування, розгортання та інших отворів у деталях.
Скриня для відходів	Збір металевої стружки, відходів та використаних матеріалів.
Візок для перевезення деталей	Транспортування важких або габаритних деталей по дільниці.
Стелаж для миття	Тимчасове розміщення деталей після миття для їхнього сушіння та огляду.

### 5.1 Розрахунок площі дільниці

Згідно рекомендацій сумарна площа обладнання:

$$F_{\text{обл}} = 4 * (1,13 + 0,62 + 0,167) + 2 * (0,514 + 0,506) + 0,77 + 0,472 + 0,51 = 11,56 \text{ м}^2. \quad (5.1)$$

Тоді загальна площа дільниці (рис. Б5):

$$F = 7,280 * 4,800 = 34,944 \text{ м}^2. \quad (5.2)$$

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У табл. 5.2 наведений перелік технологічного устаткування на виробничій дільниці з ремонту кермового управління седана

Таблиця 5.2 – Перелік технологічного устаткування на виробничій дільниці з ремонту кермового управління седана

№ п/п	Найменування	Тип, модель	Габаритні розміри у плані	К-ть	Площа, м <sup>2</sup>
1	Стенд для перевірки та регулювання кутів установки коліс	A-926 Sice	550x620	1	0,341
2	Лінійки для перевірки сходження коліс автомобілів	ПСК-ЛГ	-----	2	-----
3	Компресомір для перевірки компресії в циліндрах ДВЗ	АТ-4001	320x75	1	-----
4	Стенд для перевірки гальм	МАНА IW7 EUROS YSTEM 4WD	3200x650	1	2,08
5	Мотортестер	HTC MT10K М Плюс	650x420	1	0,273
6	Прилад для перевірки карбюраторів	BLACK 27514	переносний	1	-----
7	Прилад для очищення і перевірки свічок запалення	Autool SPT 101	220x200	1	-----
8	Прилад для контролю і регулювання кута випередження запалення	AEB Puma 515N	245x575	1	-----
9	Стенд для перевірки генераторів, реле-регуляторів, стартерів, резисторів знятих з автомобіля	MS002A	750x1200	1	0,90
10	Прилад для перевірки акумуляторів	Konnwei	185x155	1	-----
11	Установка для перевірки гідросистем кермового управління	MS511	730x550	1	0,402
12	Манометр	МПЗ-У	переносний	1	-----

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

13	Прилад для перевірки і регулювання світла фар	Beissbarth MLD1	920x710	1	0,653
14	Динамометр - люфт	ду-500	360x125	1	-----
15	Комплект торцевих ключів	38D515	-----	2	-----
16	Набір викруток	133-550	-----	3	-----
17	Пасатижі	-----	-----	4	-----
18	Комплект гайкових ключів	INTERT OOL	340x180	3	-----
19	Верстак	KronVuz	1400x800	2	2,52
10	Настінна шафа для приладів	-----	600x500	2	-----
11	Вогнегасник	ОП-5	ДСТУ 1809-2006	3	-----

					КВРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Висновки

Наведені загальні відомості та технічні характеристики седана Daewoo Nubira III (J200), а також несправності, діагностика і ремонт деталей кермового механізму і його кермової рейки. Подано інформацію про функції, ознаки несправностей, причини виходу з ладу, методику діагностики, засоби уникнення поломок, ремонт рейки кермового механізму седана.

Вибраний матеріал і методи зміцнення рейки кермового управління седана, маршрутна технологія її термічної обробки:

1. Штампування або кування.
2. Попередня термічна обробка заготовок:
  - нагрівання садки на температуру аустенізації  $T_H = 870 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
  - витримка при температурі аустенізації  $\tau = 1 \text{ год.}$  ;
  - охолодження до температури ізотермічного відпалу  $T_{iv} = 640 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
  - тривалість охолодження  $\tau_{охол} \approx 7 \text{ хв.}$ ;
  - швидкість охолодження  $V_{охол} = 33 \text{ }^\circ\text{C/хв.}$ ;
  - витримка при температурі ізотермічного відпалу  $\tau_{вит} = 2,5 \text{ год.}$
3. Механічна обробка.
4. Підготовка поверхні рейок до подальшої термічної обробки:
  - ізотермічний відпал;
  - нагрів вище  $A_{c3}$  на  $(30-50) \text{ }^\circ\text{C}$ , охолодження до температури нижче  $A_{c1}$  на  $(50-100) \text{ }^\circ\text{C}$ ,
  - ізотермічна витримка протягом  $\tau = 2 \text{ год.}$
  - прискорене охолодження потоком повітря до температури  $350 \text{ }^\circ\text{C}$  протягом  $\tau = 10 \text{ хв.}$ ,
  - повільне остигання заготовки до температури  $t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$  у печі.
5. Остаточна термічна обробка (цементация чи гартування).
6. Остаточний контроль.

### Технологія гартування рейки:

- нагрівання до температури –  $t = 820 \text{ }^\circ\text{C}$ , за якої утворюється аустеніт;

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– охолодження у маслі та (відпустка при  $t = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), витримка при цій температурі для повного перетворення структури; твердість сталі 20ХНР після гартування HRC 58.

#### **Технологія цементація рейки:**

– нагрів заготовки до температури  $t = 930^{\circ}\text{C}$  у контрольованому середовищі на основі ендогазу з додаванням природного газу у кількості 3,0 % (глибина цементованого шару становить  $h = (0,8 \pm 0,3)$  мм; тривалість насичення  $\tau = 2,5$  год.; додатковий час, необхідний для нагріву садки до робочої температури,  $\tau = 30$  хв.; сумарний час всього процесу цементації рейки  $\tau = 3$  год.);

– охолодження заготовок до температури  $t = 400^{\circ}\text{C}$ .

– нагрівання під гартування до температури  $t = 820^{\circ}\text{C}$  протягом 30 хв., HRC 40;

– охолодження заготовок у гарячому маслі для гартування протягом  $\tau = 15$  хв.,

– попереднє очищення (промивання заготовок у гарячому мильному розчині протягом  $\tau = 8$  хв.);

– низькотемпературна відпустка при  $t = 190^{\circ}\text{C}$  протягом  $\tau = 2$  год. на повітрі, HRC 60;

– охолодження рейок на повітрі до температури навколишнього середовища (вміст вуглецю на поверхні складає 0,85 %, гранична міцність рейок  $\sigma_b = 578\text{ Н/мм}^2$ ).

Для реалізації операції нормалізації обрано камерну електричну піч СНЗ-8.16.5/10 (рис. 3.3). Операції цементації та подальшого гартування безпосередньо з цементаційного нагріву виконуються в шахтній муфельній печі СШЦМ-6.12/9.

Після гартування в маслі поверхня рейок містить залишки мастильного середовища, тому перед проведенням відпуску їх необхідно очищати. Для видалення масла рейки промивають у гарячому  $(80\text{--}90)\text{ }^{\circ}\text{C}$  10 % водному

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розчині  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Процес очищення здійснюється за допомогою конвеєрної мийної машини ММК. Твердість поверхні має бути  $> \text{HRC } 58-60$ , серцевини  $\text{HRC } 30-40$ .

За допомогою SolidWorks Simulation проведене комп'ютерне моделювання напружено-деформованого стану рейки після цементації та гартування з відображенням контурних графіків сумарних напружень von Mises, переміщень URES, деформацій ESTRN і запасу міцності FOS. Встановлено, що цементація рейки забезпечує вищий коефіцієнт запасу міцності. Тому саме її застосовуємо для термічної обробки рейки кермового управління седана.

Спроектвана виробнича діляниця з ремонту кермового управління седана.

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список використаних джерел

1. Daewoo Nubira [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Daewoo\\_Nubira](https://uk.wikipedia.org/wiki/Daewoo_Nubira)
2. Технічні характеристики Daewoo Nubira (Деу Нубіра) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.drivernotes.net/tehnicheskie\\_harakteristiki/daewoo/nubira](http://www.drivernotes.net/tehnicheskie_harakteristiki/daewoo/nubira)
3. Рульова рейка. Заміна чи реставрація? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zauto.com.ua/rulova-reika-zamina-chy-restavratsiya>
4. Ремонт кермових рейок і кермового управління [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://remont-reek.com.ua>
5. Етапи ремонту кермових рейок автомобіля [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://avtodoctor.com.ua/ua/blog/etapy-remonta-rulevykh-reyek-avtomobilya>
6. Відновлення кермової рейки з ГУР і ЭУР в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gureur.com.ua/teh-opisaniya-steering/vosstanovlenie-rulevoj-rejki-s-gur-i-jeur>
7. Ремонт рульового керування [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://profigas.ua/remont-rul-ovogo-keruvannya>
8. Рульові рейки: типи, конструкція, принцип дії, переваги та недоліки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://remont-reek.com.ua/ua/steering-racks-types-design>
9. Рульові рейки: несправності і відновлення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://spro.kiev.ua/rulovi-rejky-nespravnosti-i-vidnovl>
10. Ремонт та відновлення рульових рейок [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://blitsavto.com.ua/remont-ta-vidnovlennya-rulovikh-reyok>
11. Ремонт рульового управління / Ремонт рульової рейки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://avtoanatomia.kiev.ua/car-services/remont-ruliovoho-keruvannia>
12. Несправності кермової рейки: ознаки, причини, діагностика

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

[Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://starters.kiev.ua/uk/stati/malfunction-steering-rack-symptom>

13. Як уникнути проблем з кермовою рейкою та де робити ремонт рейки у Хмельницькому [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://garage26.km.ua/yak-unyknuty-problem-z-kermovoyu-rejkoyu-ta-de-robyty-remont-rejky-u-hmelnyczkomu>

14. Ремонт систем рульового керування [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://www.boschcarservice.com/ua/uk/послуги-бош-авто-сервіс/ремонт-систем-рульового-керування>

15. Діагностика та ремонт кермової системи [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://katrin-auto.kiev.ua/ua/diahnostyka-ta-remont-kermovoi-systemy>

16. Поломка кермової рейки. Ознаки несправності та ремонт [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://kitaec.ua/ua/articles/polomka-rulevoy-reyki-priznaki-neispravnosti-i-remont/?srsltid=AfmBOoqdWNwHFgvLxGSN3IZIRvzpVAZIFr2CMNIZH0RZeACDh61OiOyu>

17. Розробка технологічного процесу термічної обробки деталі із сталі марки 20ХНР [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://xreferat.com/76/39-1-razrobotka-tehnologicheskogo-processa-termicheskoiy-obrabotki-detali-iz-stali-marki-20hnr.html>

18. Характеристика матеріалу 20ХНР [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

[https://www.splav-kharkov.com/mat\\_start.php?name\\_id=178](https://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=178)

19. Сталь 20ХНР [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://evек.org/materials/stal-20hnr.html>

20. Сталь 20ХНР [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

[https://1metal.com/infosteel-steel\\_20hnr.html](https://1metal.com/infosteel-steel_20hnr.html)

21. Лабораторний практикум з технології конструкційних матеріалів і матеріалознавства / Н. П. Василенко, В. В. Гончаров. – Х.: Видавництво «Лідер», 2017. – 303 с.

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

22. Дробот О. С. Теорія і технологія термічної обробки : методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 132 «Матеріалознавство» / О. С. Дробот. Хмельницький: ХНУ, 2022. – 35 с.

23. Електрична піч СНО-8.16.5/11 (СНО-8.16.5/13) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://termo.in.ua/product/electric-furnace-sno-8-16-5-11>

24. Камерні печі (Муфельні печі) типу СНО до 1360 °С [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://bortek.ua/ua/promyshlennye-ehlektropечи/kamernye-pechi/>

25. Сігова В .І. Технологія і проектне рішення термічних цехів і дільниць: навч. посіб. /В .І. Сігова, В. Б. Юскаєв, А. Ф. Будник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2010. – 318 с.

26. Афтандіянц Є. Г. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Конспект лекцій. Частина II. Металознавство / Є. Г. Афтандіянц, О. В. Зазимко, К. Г. Лопатько, А. В. Поліщук. – Київ: НУБтаПУ, 2016. – 322 с.

					КвРМТВА 024342.01.10.ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		