

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

### Відновлення шліцьової втулки карданного валу вантажного автомобіля

Рівень вищої освіти                      бакалавр  
Галузь знань                                13 «Механічна інженерія»  
Спеціальність                              132 «Матеріалознавство»  
Освітня програма «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

Шифр КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ

Виконав студент 3-го курсу  
група МТВАс 22-2  
Шифр



Підпис

Ярослав ДЕЙБУК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

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



Підпис

Олександр РУДИК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер



Підпис

Олег МАКОВКІН  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
Завідувач кафедри ТАМ  
Назва



Підпис

Олександр ДИХА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата 10.06.25

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: спеціаліст

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»

Спеціалізація: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУ

Зав. кафедрою ТАМ  
Диха О.В.  
" 20 " 07 2025

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Дейбуку Ярославу Валерійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: «Відновлення шліцьової втулки карданного валу вантажного автомобіля»

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

Затверджено наказом університету від 7.02.2025 р. № 23 (Д 14)

2. Строк подання студентом проекту на кафедру: 10.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту:

*Матеріали переддипломної практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації складанню і регулюванню вузла дослідження.*

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

1. Загальні відомості про вантажний армійський автомобіль ЗіЛ-131.

2. Карданна передача вантажного армійського автомобіля ЗіЛ-131 (загальні відомості, технічне обслуговування, дефекти карданної передачі та способи її усунення).

3. Конструкція, принцип роботи, основні дефекти, матеріал шліцьової втулки карданного валу автомобіля ЗіЛ-131.

4. Розробка технологічного процесу відновлення шліцьової втулки карданного валу ЗіЛ-131.

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

– графічна частина роботи представлена у вигляді презентації у слайдах

5. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання ----

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**


| № з/п | Назва розділу кваліфікаційної роботи                  | Строки виконання   | Примітка |
|-------|---|--------------------|----------|
| 1     | <i>Літературний огляд</i>                             | <i>20.05.2025</i>  | вик.     |
| 2     | <i>Технологічний розділ</i>                           | <i>25.05. 2025</i> | вик.     |
| 3     | <i>Конструкторський розділ</i>                        | <i>30.05. 2025</i> | вик.     |
| 4     | <i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>  | <i>2.06. 2025</i>  | вик.     |
| 5     | <i>Оформлення презентації кваліфікаційної роботи</i>  | <i>5.06. 2025</i>  | вик.     |
| 6     | <i>Нормоконтроль кваліфікаційної роботи</i>           | <i>9.06. 2025</i>  | вик.     |
| 7     | <i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i> | <i>10.06. 2025</i> | вик.     |
|       |   |                    |          |
|       |   |                    |          |

Студент

  
Підпис

Ярослав ДЕЙБУК  
Ім'я, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

Олександр РУДИК  
Ім'я, прізвище

## РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 78 сторінок, кількість рисунків – 29, таблиць – 8, додатків – 1, кількість джерел згідно із переліком посилань – 24.

Студент гр. МТВАс-22-2 Дейбук Я.В.

Тема «Відновлення шліцьової втулки карданного валу вантажного автомобіля».





Дана кваліфікаційна робота присвячена розробці технологічного процесу відновлення втулки карданного валу вантажного автомобіля ЗіЛ-131. Матеріалом її виготовлення є хромонікелева легована сталь 40ХН ДСТУ 7806:2015. У кваліфікаційній роботі вирішувались наступні завдання:

- навести загальні відомості про автомобіль ЗіЛ-131 як базове шасі для військової техніки ЗСУ, карданну передачу ЗіЛ-131, її технічне обслуговування, дефекти та способи їх усунення;
- розглянути призначення, конструктивні особливості, основні дефекти шліцьової втулки карданного валу та вибрати матеріал для її виготовлення;
- розробити технологічний процес відновлення шліцьової втулки з наступною термічною обробкою;
- визначити мікроструктуру сталі 40ХН після гартування, дефекти термічної обробки та способи їх усунення.

**Перелік ключових слів:** ЗІЛ-131, КАРДАННИЙ ВАЛ, ШЛІЦЬОВА ВТУЛКА, НАПЛАВЛЕННЯ У ВУГЛЕКИСЛОМУ ГАЗІ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

## Зміст

|   |           |
|---|-----------|
| Анотація .....  | 6         |
| Abstract .....  | 7         |
| Перелік скорочень.....  | 8         |
| Вступ .....   | 9         |
| <b>1 Загальні відомості про вантажний армійський автомобіль ЗіЛ-131 .....</b>   | <b>10</b> |
| <b>2 Карданна передача вантажного армійського автомобіля ЗіЛ-131.....</b>   | <b>14</b> |
| 2.1 Загальні відомості про карданну передачу ЗіЛ-131 .....  | 14        |
| 2.2 ТО карданної передачі автомобіля ЗіЛ-131 .....  | 15        |
| 2.3 Дефекти карданної передачі та способи їх усунення.....  | 16        |
| <b>3 Конструкція, принцип роботи, основні дефекти, матеріал шліцьової втулки карданного валу автомобіля ЗіЛ-131 .....</b> | <b>19</b> |
| 3.1 Призначення та конструктивні особливості шліцьової втулки карданного валу.....  | 19        |
| 3.2 Основні дефекти шліцьової втулки.....   | 21        |
| 3.3 Вибір матеріалу шліцьової втулки .....  | 22        |
| 3.3.1 Сталь 40ХН: властивості, переваги .....   | 23        |
| 3.3.2 Вплив хімічного складу на структуру та властивості сталі 40ХН ..  | 24        |
| 3.3.3 Вплив легування на перлітне перетворення сталі 40ХН.....  | 25        |
| 3.3.4 Вплив карбідоутворюючих елементів на стійкість сталі 40ХН .....   | 26        |
| 3.4 Термічна обробка сталі 40ХН та можливі дефекти.....   | 27        |

|                         |          |          |   |      |
|-------------------------|----------|----------|---|------|
| КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ |          |          |   |      |
| Зм.                     | Лист     | № докум. | Підпис  | Дата |
| Розроб.                 | Дейбук   |          |  |      |
| Перевір.                | Рудик    |          |  |      |
| Н. Контр.               | Маковкін |          |  |      |
| Затверд.                | Диха     |          |  |      |
|                         |          |          | <b>Відновлення шліцьової втулки карданного валу вантажного автомобіля</b>           |      |
|                         |          |          | Літ.  | Арк. |
|                         |          |          | 4   | 68   |
| ХНУгр.МТВАс-22-2        |          |          |   |      |

## Зміст

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Анотація .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>Abstract .....</b>  | <b>7</b>  |
| <b>Перелік скорочень.....</b>  | <b>8</b>  |
| <b>Вступ .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>1 Загальні відомості про вантажний армійський автомобіль ЗіЛ-131.....</b>   | <b>10</b> |
| <b>2 Карданна передача вантажного армійського автомобіля ЗіЛ-131.....</b>  | <b>14</b> |
| 2.1 Загальні відомості про карданну передачу ЗіЛ-131 .....   | 14        |
| 2.2 ТО карданної передачі автомобіля ЗіЛ-131 .....   | 15        |
| 2.3 Дефекти карданної передачі та способи їх усунення.....   | 16        |
| <b>3 Конструкція, принцип роботи, основні дефекти, матеріал шліцьової втулки карданного валу автомобіля ЗіЛ-131.....</b> | <b>19</b> |
| 3.1 Призначення та конструктивні особливості шліцьової втулки карданного валу .....                                      | 19        |
| 3.2 Основні дефекти шліцьової втулки.....  | 21        |
| 3.3 Вибір матеріалу шліцьової втулки.....  | 22        |
| 3.3.1 Сталь 40ХН: властивості, переваги .....  | 23        |
| 3.3.2 Вплив хімічного складу на структуру та властивості сталі 40ХН ..   | 24        |
| 3.3.3 Вплив легування на перлітне перетворення сталі 40ХН.....   | 25        |
| 3.3.4 Вплив карбідоутворюючих елементів на стійкість сталі 40ХН .....  | 26        |
| 3.4 Термічна обробка сталі 40ХН та можливі дефекти.....  | 27        |

|           |          |          |        |      |   |                  |      |         |
|-----------|----------|----------|--------|------|---|------------------|------|---------|
|           |          |          |        |      | <b>КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ</b>  |                  |      |         |
| Зм.       | Лист     | № докум. | Підпис | Дата |   |                  |      |         |
| Розроб.   | Дейбук   |          |        |      | <b>Відновлення шліцьової втулки карданного валу вантажного автомобіля</b> | Літ.             | Арк. | Аркушів |
| Перевір.  | Рудик    |          |        |      |   | 4                | 68   |         |
| Н. Контр. | Маковкін |          |        |      |   | ХНУГр.МТВАс-22-2 |      |         |
| Затверд.  | Диха     |          |        |      |   |                  |      |         |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.4.1 Вибір режиму термічної обробки сталі 40ХН.....  | 27        |
| 3.4.2 Універсальна камерна піч СНО-8,5.17.5/10: конструкція та особливості моделі.....                  | 29        |
| 3.4.3 Дефекти термічної обробки сталі 40ХН та способи їх усунення....                                   | 30        |
| <b>4 Розробка технологічного процесу відновлення шліцьової втулки карданного валу ЗіЛ-131.....</b>      | <b>32</b> |
| 4.1 Доцільність відновлення шліцьової втулки карданного валу.....                                       | 34        |
| 4.2 Параметри процесу відновлення та зміцнення шліцьової втулки.....                                    | 36        |
| 4.3 Наплавлення зносостійких шарів у середовищі захисних газів .....                                    | 39        |
| 4.3.1 Загальна інформація про наплавлення у середовищі CO <sub>2</sub> .....                            | 40        |
| 4.3.1.1 MIG-MAG напівавтоматичне зварювання в середовищі CO <sub>2</sub> : переваги та особливості..... | 43        |
| 4.3.2 Матеріали для наплавлення у середовищі CO <sub>2</sub> .....                                      | 46        |
| 4.3.3 Обладнання для наплавлення у середовищі CO <sub>2</sub> .....                                     | 47        |
| 4.3.4 Розробка ТП наплавлення шліцьової втулки у середовищі CO <sub>2</sub> .....                       | 57        |
| <b>Висновки.....</b>  | <b>58</b> |
| <b>Список використаних джерел .....</b>   | <b>60</b> |
| <b>Додатки .....</b>  | <b>64</b> |

## Анотація

Після початку бойових дій на сході України, досвід Антитерористичної операції засвідчив нагальну потребу підвищення мобільності ЗСУ шляхом активного використання середньотонажного вантажного автомобіля ЗіЛ-131 як базового шасі для ракетного комплексу «Точка-У», бойових машин 9К55 «Град-» і 9Р138 «Град-1», транспортної машини 9Т450 з комплектом стелажів, FPV-дронів, військових прожекторів. ЗіЛ-131 потребує технічного обслуговування, ремонту силових агрегатів і ходової частини.

Тому представлені загальні відомості про карданну передачу ЗіЛ-131, її дефекти та способи усунення. Розглянуте призначення та конструктивні особливості шліцьової втулки карданного валу. Для неї розроблений технологічний процес відновлення – наплавлення у середовищі вуглекислого газу з наступним гартуванням і низьким відпуском.

Визначена мікроструктура матеріалу шліцьової втулки після гартування в маслі, дефекти термічної обробки та способи їх усунення. Вибраний режим дозволив забезпечити оптимальне співвідношення міцності, в'язкості та зносостійкості, що є гарантом надійної та довговічної роботи шліцьової втулки в умовах високих динамічних і вібраційних навантажень.

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 6    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

## Abstract

After the start of hostilities in eastern Ukraine, the experience of the Anti-Terrorist Operation demonstrated the urgent need to increase the mobility of the Armed Forces of Ukraine through the active use of the ZiL-131 medium-tonnage truck as the base chassis for the Tochka-U missile system, the 9K55 Grad- and 9P138 Grad-1 combat vehicles, the 9T450 transport vehicle with a set of racks, FPV drones, and military searchlights. The ZiL-131 requires maintenance, repair of power units and chassis.

Therefore, general information about the ZIL-131 cardan transmission, its defects and methods of elimination are presented. The purpose and design features of the splined bushing of the cardan shaft are considered. A technological process of restoration has been developed for it - surfacing in a carbon dioxide environment with subsequent hardening and low tempering.

The microstructure of the splined sleeve material after quenching, heat treatment defects and methods for their elimination were determined. The selected mode allowed to ensure the optimal ratio of strength, toughness and wear resistance, which is a guarantee of reliable and durable operation of the splined sleeve under conditions of high dynamic and vibration loads

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 7    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

## Перелік скорочень

ЗСУ – збройні сили України.

РСЗВ – реактивна система залпового вогню.

УМЗ – універсальні мінні загороджувачі.

ТО – технічне обслуговування.

КПП – коробка перемикачів передач.

КП – карданна передача.

С – вуглець.

Cr – хром.

Ni – нікель.

МК – маршрутна карта.

ОК – операційна карта.

СО<sub>2</sub> – вуглекислий газ (вуглекислота).

О<sub>2</sub> – кисень.

N<sub>2</sub> – азот.

H<sub>2</sub> – водень.

He – гелій.

Ar – аргон.

Si – кремній.

Mn – марганець.

MAG – Metal Active Gas.

MIG – Metal Inert Gas.

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 8    |

## Вступ

**Актуальність теми.** Карданна передача вантажного армійського автомобіля ЗіЛ-131 служить сполучною ланкою між коробкою перемикачів передач і заднім мостом. Їзда при її несправності призводить до серйозної аварії, особливо, якщо кардан не ізольований від зовнішнього середовища. Тому дослідження працездатності деталей карданної передачі, зокрема, шліцьової втулки, є актуальним.

### **Мета та завдання кваліфікаційної роботи:**

- навести загальні відомості про автомобіль ЗіЛ-131 як базове шасі для військової техніки ЗСУ, карданну передачу ЗіЛ-131, її технічне обслуговування, дефекти та способи їх усунення;
- розглянути призначення, конструктивні особливості, основні дефекти шліцьової втулки карданного валу та вибрати матеріал для її виготовлення;
- розробити технологічний процес відновлення шліцьової втулки з наступною термічною обробкою;
- визначити мікроструктуру сталі 40ХН після гартування, дефекти термічної обробки та способи їх усунення.

**Новизна роботи:** розроблений технологічний процес відновлення шліцьової втулки карданного валу з оформленням маршрутних та операційних карт. Призначений режим її термічної обробки після відновлення.

**Можливість використання висновків і рекомендацій у наукових дослідженнях та на практиці:** розроблений технологічний процес може бути рекомендований для застосування на виробництві при виготовленні аналогічних деталей, схильних до інтенсивного зносу і навантажень.

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 9    |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

# 1 Загальні відомості про вантажний армійський автомобіль ЗіЛ-131

Серед колісної автомобільної техніки, яка наразі продовжує використовуватись у Збройних Силах України, широко представлена техніка радянського виробництва, зокрема вантажні автомобілі марки ЗіЛ. Незважаючи на моральне та технічне застаріння, а також тривалий строк служби, ці вантажівки залишаються важливою складовою автопарку української армії. Разом з іншими середньотонажними машинами, що були розроблені ще у радянський період, ЗіЛи досі становлять орієнтовно 80% військового автотранспорту. Їхня заміна сучасними зразками — як вітчизняного, так і західного виробництва — відбувається повільно й поетапно. Відтак основними завданнями ремонтних підрозділів залишаються оперативне ТО, регулярний ремонт, а також проведення часткової модернізації цієї техніки [1].

Найбільш поширеною моделлю серед таких автомобілів є ЗіЛ-131 та його численні модифікації. Це повнопривідна вантажівка з колісною формулою 6х6, яка має такі технічні характеристики:

- вантажопідйомність на бездоріжжі 3 500 кг;
- вантажопідйомність на дорогах з твердим покриттям 5 000 кг;
- трансмісія механічна, п'ятиступенева;
- двигуни встановлювалися різних типів залежно від модифікації та періоду виробництва.

Загалом було розроблено понад 10 модифікацій ЗіЛ-131, включно зі спеціалізованими та транспортними варіантами. На його основі також створено армійський автопоїзд ЗіЛ-137 з колісною формулою 10х10. Цей комплекс складається з сідельного тягача та напівпричепа, здатного перевозити вантаж масою до 10 тон. Окремий різновид даної техніки — БАЗ-6009 використовується як основа для ракетного комплексу «Точка-У».

Після початку бойових дій на сході України, досвід Антитерористичної операції засвідчив нагальну потребу підвищення мобільності ЗСУ шляхом активного використання середньотонажних вантажних автомобілів. У зв'язку з

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 10   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

цим було розпочато модернізацію ЗіЛ-131. Спочатку на них встановлювали двигуни білоруського виробництва, зокрема від ММЗ, однак згодом розпочалося переоснащення на економічні дизельні агрегати компанії Deutz AG (Німеччина). Водночас із розгортанням повномасштабної фази російсько-української війни акценти поступово зміщуються з модернізації старої техніки на її повну заміну новітніми зразками західного зразка, зокрема тими, які відповідають стандартам НАТО. Проте повне оновлення автопарку вимагає часу та ресурсів, тому значна кількість ЗіЛ-131 і надалі залишатиметься в експлуатації, потребуючи технічного обслуговування, ремонту силових агрегатів, ходової частини та допоміжного обладнання.

Окрему увагу під час поточних ремонтів приділяють тентовим конструкціям, які особливо вразливі до пошкоджень в умовах активного бойового використання. Їх зношення та руйнування потребують регулярної заміни й посиленого контролю.

Окрім транспортних задач, ЗіЛ-131 використовується також як базове шасі для бойової техніки, зокрема реактивної системи залпового вогню. Наприклад, бойова машина 9К55 — це спрощена версія БМ-21 «Град», встановлена на платформі ЗіЛ-131 [2, 3] — див. рис. 1.1.



**Рисунок 1.1 – 9К55 «Град-1» версії БМ-21 на шасі ЗіЛ-131**

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 11   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Бойова машина 9P138 «Град-1» також оснащена пусковою установкою на 36 напрямних, а в її задній частині змонтовані відкидні упори з амортизаторами, що забезпечують стабільність під час здійснення бойового залпу [4] — див. рис. 1.2.



**Рисунок 1.2 – 9P138 «Град-1» на шасі ЗіЛ-131**

Для перевезення боєприпасів, можуть використовуватися як вантажівки з комплектом стелажів РСЗВ (один із типів артилерійських систем, призначений для ураження відкритої й укритої живої сили противника), так і транспортна машина 9Т450 з комплектом стелажів, виконана також на базі ЗіЛ-131. Для ведення нічних бойових дій машина обладнується приладом нічного бачення ПНВ-57Е. Радіозв'язок забезпечується за допомогою радіостанції Р-108М [2, 3].

ЗСУ використовують FPV-дрони (встановлені на базі вантажівки ЗіЛ-131В) для ефективного знищення російських мінних загороджувачів (рис. 1.3). Ці УМЗ служать для віддаленого та швидкого розміщення на полі бою різноманітних мінних полів: протитанкових, протипіхотних та комбінованих. Такі системи активно застосовуються російськими військами з метою затримки або ускладнення контрнаступальних операцій Сил оборони України, що є частиною їх стратегії перешкоджання прогресу українських військ [5].

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 12   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |



**Рисунок 1.3 – FPV-дрони на шасі ЗіЛ-131**

Також внутрішні війська України використовують військові прожектори на шасі ЗіЛ-131 [6] – рис. 1.4.



**Рисунок 1.4 – Військові прожектори на шасі ЗіЛ-131**

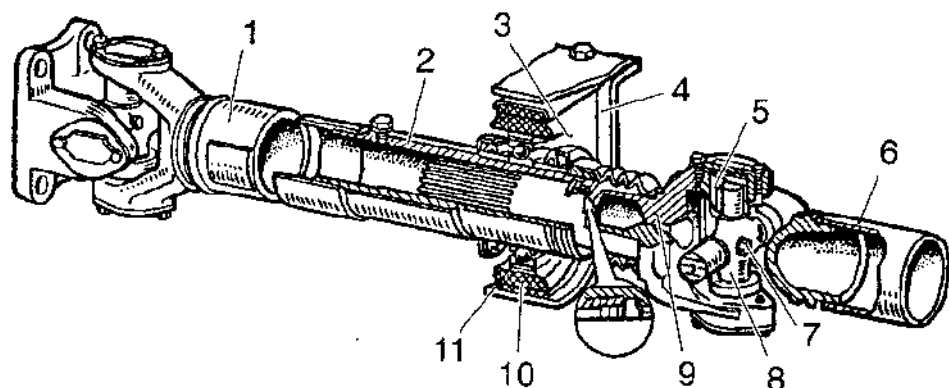
|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 13   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

## 2 Карданна передача вантажного армійського автомобіля ЗІЛ-131

### 2.1 Загальні відомості про карданну передачу ЗІЛ-131

Карданна передача (КП) — це механізм з шарнірним з'єднанням, який складається з центральної хрестовини та 2-х вилок, які закріплені на кінцях валів і шарнірно з'єднані з хрестовиною. Така передача використовується для передачі крутного моменту між валами зі значним кутовим зміщенням осей (40-45°), яке може варіюватися під час обертання валів [16].

КП автомобіля ЗІЛ-130 (рис. 2.1) представлена двома взаємопов'язаними валами — проміжним 1 та основним 6, які разом забезпечують передавання крутного моменту від КПП до ведучого моста. Проміжний вал розміщено на спеціальній проміжній опорі 3, яка включає в себе кульковий підшипник, вмонтований у пружне гумове кільце 10, яке у свою чергу закріплене в металевому кронштейні 4. На передньому кінці проміжного валу жорстко приварена вилка карданного шарніра, а задній його кінець виконаний у вигляді шліцьової втулки 2. У цю втулку вставляється шліцьовий кінець вилки 9 карданного шарніра основного валу [7, 8].



1 і 6 – проміжний та основний карданні вали; 2 – втулка шліцьова; 3 – опора проміжна; 4 – кронштейн; 5 – підшипники голчасті; 7 – прес-маслянка; 8 – хрестовина; 9 – вилка; 10 – кільце гумове; 11 – кульковий підшипник

**Рисунок 2.1 – Загальний вигляд карданної передачі автомобіля ЗІЛ-130**

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 14   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Завдяки наявності ковзного шліцьового з'єднання між проміжним і основним валами забезпечується можливість зміни загальної довжини карданної передачі. Це компенсує вертикальні переміщення ведучого моста, які виникають при русі автомобіля по нерівностях дороги або при зміні навантаження на підвіску.

Карданні шарніри складаються з двох вилок 9, які через свої вушка охоплюють хрестовину 8 (див. рис. 2.1). Остання має чотири шипи, кожен з яких обертається у відповідному голчастому підшипнику 5. Така конструкція шарніра забезпечує передачу обертального руху під змінними кутами між валами, зберігаючи при цьому плавність роботи і довговічність з'єднання навіть у складних умовах експлуатації.

## 2.2 ТО карданної передачі автомобіля ЗІЛ-131

Процес ТО КП починається з очищення зовнішніх поверхонь усіх її елементів від бруду, пилу та залишків мастильних матеріалів. Після цього виконується перевірка надійності затягування всіх доступних з'єднань деталей КП. Якщо виявлено ослаблені з'єднання, їх необхідно обов'язково підтягнути до нормативного зусилля.

Особливу увагу слід приділити кріпленню хрестовин у підшипниках, а також посадці самих підшипників у вушках вилок. Для перевірки відсутності люфту потрібно покачати одну з вилок карданного шарніра відносно іншої. Якщо під час перевірки виявлено люфт, це свідчить про зношування або пошкодження, і в такому випадку хрестовину разом із підшипниками замінюють.

Надійність і тривалий термін служби КП значною мірою залежать від регулярності змащування та дотримання графіка ТО. Для змащування хрестовин кардана використовують консистентну мастику, рекомендовану виробником. У разі її відсутності допускається застосування солідолу. Мастило вводять шприцом до моменту його виходу через зворотний клапан, розташований на корпусі хрестовини. Важливо подавати мастило повільними і рівномірними натисканнями

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 15   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

— це дозволяє повітрю вийти зі внутрішніх каналів, а мастилу досягти всіх підшипників.

Головна мета ТО КП — забезпечити її безперебійну роботу без вібрацій, ривків або сторонніх шумів. Поверхня валів не повинна мати механічних пошкоджень, таких як тріщини, вм'ятини чи викривлення.

Діагностика стану КП включає визначення рівня биття карданного валу, а також ступеня зносу шарнірів і шліцьових з'єднань. Щоб перевірити биття валу, автомобіль встановлюють над оглядовою ямою або на підйомник, піднімають одне заднє колесо, вимикають передачу і знімають автомобіль з ручного гальма. Повільно обертаючи колесо вручну, за допомогою індикатора вимірюють биття — це різниця між максимальним і мінімальним значеннями.

Знос шарнірів і шліцьових з'єднань визначають візуальним оглядом та вручну — при покачуванні валу не має бути помітного зміщення або стуку. Різкий поворот валу в різні боки також не повинен супроводжуватися люфтом.

Дуже важливим фактором, який впливає на довговічність підшипників та карданних шарнірів, є правильне балансування карданного валу. Після розбирання КП її обов'язково слід збирати згідно з маркуванням або стрілками, які вказують правильне положення частин, щоб зберегти заводське балансування і уникнути небажаних вібрацій під час експлуатації.

### 2.3 Дефекти карданної передачі та способи їх усунення

У процесі експлуатації КП виникає ряд типових дефектів, які потребують своєчасного виявлення та якісного відновлення для забезпечення довговічності та безпечної роботи агрегату.

1. Знос шийок хрестовини. У разі зносу шийок хрестовини виконується їхнє відновлення методом хромування з подальшою механічною обробкою до номінального розміру.

2. Пошкодження сальників і підшипників. Зношені сальники та підшипники не підлягають ремонту і замінюються новими.

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 16   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

3. Вм'ятини від роликів на шийках хрестовини. Якщо на шийках хрестовини виявлено вм'ятини від роликів, це свідчить про втрату працездатності вузла. У такому випадку хрестовина підлягає заміні разом із комплектом підшипників.

4. Погнутості труби карданного валу. Погнута труба підлягає правці. Після правки допускається залишкове биття не  $>$ , ніж 0,4 мм у будь-якій точці її довжини. Після перевірки биття карданний вал центрується за пазами та отворами у вилках.

5. Погнутості щік вилок. Погнуті щоки вилок також виправляються методом правки. У випадку тріщин або відломів вилка не підлягає ремонту — її замінюють. Для цього зрізають зварний шов, демонтують несправну вилку, встановлюють нову та приварюють її до труби суцільним зварним швом шириною, не  $<$  8 мм по всьому колу.

6. Знос отворів фланця карданного валу. Фланець виготовляють зі сталі 45. При зносі отворів під підшипники виконується їх ремонт шляхом наплавлення з подальшою обробкою або заміна фланця на новий.

7. Дефекти шипів хрестовини. При наявності вм'ятин або зносу шипів хрестовини виконується автоматичне наплавлення вуглекислотним методом з подальшою термічною та механічною обробкою.

8. Втрата балансувальної пластини. У випадку відриву балансувальної пластини від труби карданного валу необхідна заміна труби або ремонт у спеціалізованій майстерні з обов'язковим проведенням динамічного балансування валу.

9. Ослаблення обойми сальника шліцьового з'єднання. Ослаблення обойми сальника усувається промиванням сальника та обтисканням обойми. У разі витoku мастила сальник замінюється.

Зовнішній вигляд карданних валів автомобіля ЗІЛ-131 наведено на рис. 2.1 і 2.2 [9-11].

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 17   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |



**Рисунок 2.1 – Карданный вал заднього моста вантажівки ЗіЛ-131**



**Рисунок 2.2 – Карданный вал середнього моста вантажівки ЗіЛ-131**

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 18   |

### **3 Конструкція, принцип роботи, основні дефекти, матеріал шліцьової втулки карданного валу автомобіля ЗІЛ-131**

#### **3.1 Призначення та конструктивні особливості шліцьової втулки карданного валу**

КП використовується для передавання крутного моменту від коробки перемикачів до роздавальної коробки або головної передачі. В процесі руху автомобіля, особливо по нерівній місцевості, відстань між фланцями з'єднаних агрегатів може змінюватися. Якщо довжина проміжного валу є сталою, це призводить до надмірних навантажень на вузли з'єднання, різьбові з'єднання, а також викликає збої в роботі трансмісії.

Для компенсації зміни довжини була введена шліцьова втулка карданного валу, яка стала невід'ємним елементом конструкції. Ця деталь дозволяє забезпечити осьове переміщення елементів КП без порушення цілісності конструкції та передачі крутного моменту (рис. 3.1).

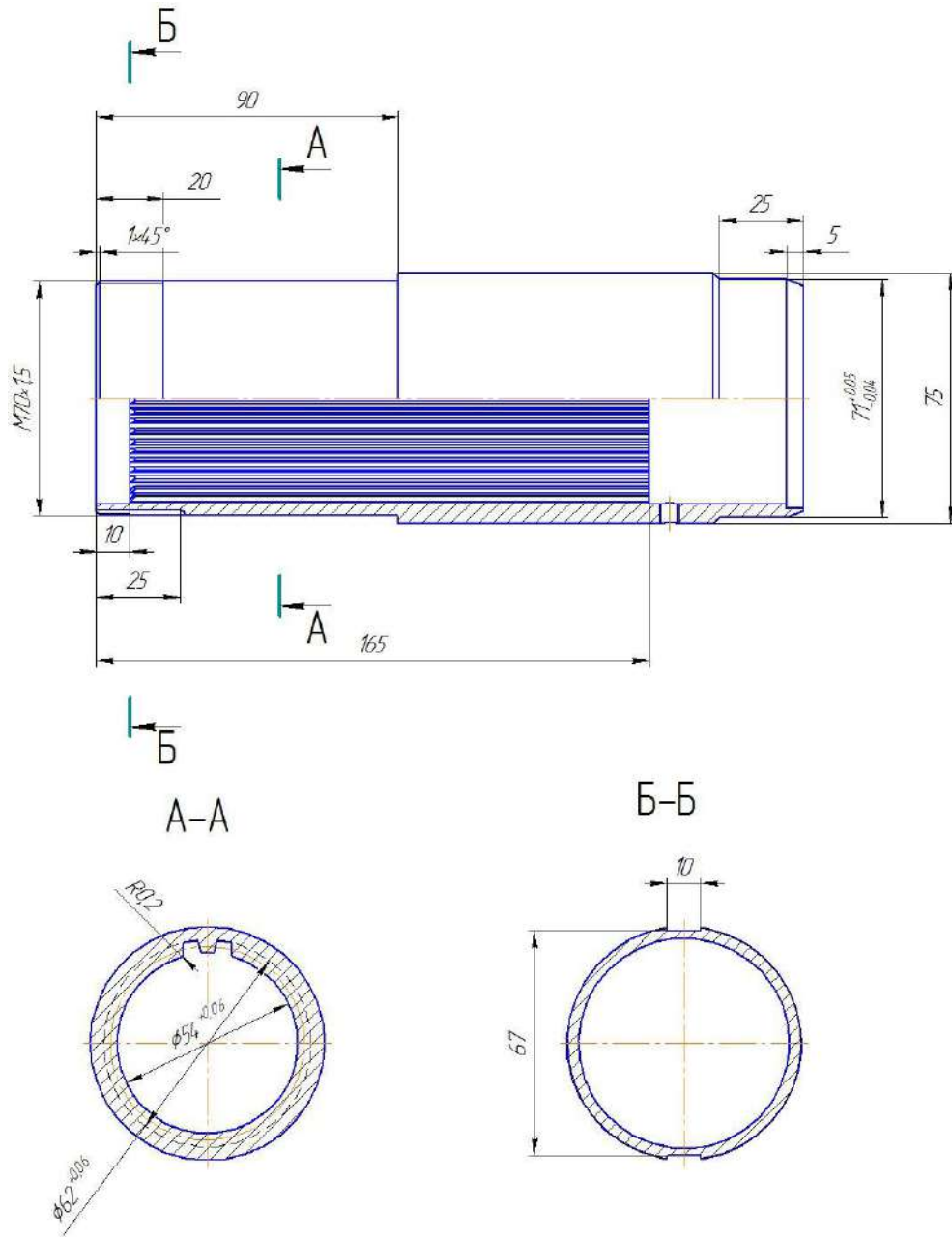
Шліцьова втулка виготовляється з високоміцної легованої сталі та являє собою частину труби з внутрішніми шліцями, яка з'єднує дві частини карданного валу. Вона служить не тільки для механічного з'єднання, а й бере участь у передаванні крутного моменту. Конструкція втулки передбачає посадочне місце під вал, виконане з високою точністю, що забезпечує надійну фіксацію та зменшення люфту.

Фіксація валу у втулці здійснюється за допомогою шайби з виступами, які входять у пази торцевої частини втулки. Поверх шайби накручується фіксуюча гайка. З протилежного боку втулки виконано свердління з внутрішньою трубною різьбою під маслянку. Через неї подається мастило для шліцьового з'єднання.

Основні конструктивні параметри втулки:

– кількість шліців: 22 шт.;

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 19   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |



**Рисунок 3.1 – Креслення шліцьової втулки карданного валу ЗІЛ-131**

- профіль шліців: евольвентний;
- модуль зубців: 2,5 мм;
- фаски: на обох кінцях для полегшення складання з'єднання.

У парі зі шліцьовим пальцем втулка утворює шліцьове з'єднання карданного валу. Це з'єднання забезпечує осьове переміщення під час обертання та компенсує зміни довжини валу при русі по нерівностях. В умовах експлуатації, особливо у військовій техніці, ця пара піддається інтенсивному зношуванню через постійне навантаження та вібрації.

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 20   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Хоча кількість мастила, що закладається при складанні, вистачає на тривалий термін служби, шліцьове з'єднання потребує періодичного ТО. Основною причиною виходу з ладу є знос шліців, що призводить до виникнення люфтів, підвищення вібрацій, втрати балансування карданного валу, а згодом – і до поломок інших агрегатів трансмісії.

Своєчасна заміна шліцьової втулки є критично важливою для забезпечення надійної роботи трансмісії автомобіля. Ремонт шліцьового з'єднання у більшості випадків полягає у заміні зношених елементів, що дозволяє усунути надмірні зазори та відновити працездатність вузла.

### 3.2 Основні дефекти шліцьової втулки

Шліцьова втулка карданного валу автомобіля ЗіЛ-131 у процесі експлуатації піддається значним механічним і вібраційним навантаженням. Це призводить до ряду характерних дефектів, які знижують її експлуатаційні властивості. Найчастіше зустрічаються наступні види ушкоджень:

- зношування шліцьового з'єднання (проявляється у вигляді зменшення товщини зубів, збільшення зазору між зв'язаними елементами, закруглення кромки; виникає в результаті тертя при передачі крутного моменту);
- корозійні пошкодження (утворюються при експлуатації в умовах підвищеної вологості та забруднень; виражаються у вигляді піттингів, точкових поглиблень і поверхневої іржі);
- зношування посадочних поверхонь (призводить до послаблення фіксації втулки на валу і порушення геометрії з'єднання);
- тріщини і мікротріщини (виникають в результаті втомного руйнування матеріалу під дією змінних навантажень, особливо в зонах концентрації напружень);
- овальність або еліпсність отворів шліцьової втулки (виникають при тривалій роботі з порушенням умов змащування або при значних перекосах валу).

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 21   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Ці дефекти знижують надійність і термін служби шліцьової втулки, погіршують роботу усієї КП і можуть призвести до її повного виходу з ладу. Для відновлення працездатності втулки потрібно проведення комплексу відновних операцій з використанням сучасних методів зміцнення і термічної обробки.

Основні дефекти шліцьової втулки наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні дефекти шліцьової втулки

| Дефекти                                       | Розміри, мм |  | Висновок  |
|---|-------------|--|---|
|   | Номинальний | Допустимий без ремонту                                   |   |
| Зношування зовнішньої різьбової поверхні валу | M70         | Зрив не більше 2-х витків різьби                         | Наплавити, обробити поверхню на токарному верстаті, нарізати різьбу |
| Зношування штопорних пазів                    | 10          | Закруглення кромки; нездатність утримати стопорне кільце | Заварити пази і наново їх фрезерувати                               |
| Зношування зовнішньої поверхні                | Ø70         | Ø 70,01  | Наплавити, обробити поверхню на токарному верстаті, шліфувати       |
| Зношування внутрішньої різьбової поверхні     | K 1/8       | Зрив не більше 2-х витків різьби                         | Заварити, свердли, нарізати нову різьбу                             |
| Зношування шліців втулки                      | Ø55         | Шліци без дефектів                                       | Наплавити поверхню, виконати протягування                           |

### 3.3 Вибір матеріалу шліцьової втулки

Для виготовлення шліцьової втулки доцільно застосовувати леговану сталь марки 40ХН ДСТУ 7806:2015. Цей матеріал широко використовується у машинобудуванні для виготовлення відповідальних деталей, що працюють в умовах високих навантажень: осей, валів, муфт, шпинделів, шатунів, зубчастих коліс, валів-шестерень, болтів, важелів, штоків, циліндрів та ін. відповідальних навантажених деталей, які піддаються вібраційним і динамічним навантаженням і до яких пред'являються вимоги підвищеної міцності та в'язкості [12-15].

Оптимальна товщина деталей, виготовлених зі сталі 40ХН, становить до 120 мм, що повністю відповідає геометричним параметрам шліцьових втулок у карданних передачах вантажних військових автомобілів [15].

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 22   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

### 3.3.1 Сталь 40ХН: властивості, переваги

Сталь 40ХН відноситься до групи хромонікелевих легованих сталей і характеризується наступними хімічними складовими (рис. 3.2):



Рисунок 3.2 – Хімічний склад сталі 40ХН

Замінники сталі 40ХН наступні: 45ХН, 50ХН, 38ХГН, 40Х, 35ХГФ, 40ХНР, 40ХНМ, 30ХГВТ.

Поєднання С, Cr та Ni забезпечує високий рівень міцності, зносостійкості, а також стійкість до вібраційних та ударних навантажень. Сталь має добру корозійну стійкість завдяки вмісту Cr.

Зарубіжні аналоги марки сталі 40ХН наведені у табл. 3.2.

Сталь 40ХН характеризується складністю у зварюванні внаслідок утворення крихкої структури у зоні термічного впливу. Щоб зменшити цей ризик, застосовується попередній підігрів зварюваних деталей з подальшим відпалом або відпуском після зварювання.

Таблиця 3.2 – Зарубіжні аналоги марки сталі 40XH

|                  |                                  |
|------------------|----------------------------------|
| <b>США</b>       | 3135, 3140H, G31400              |
| <b>Німеччина</b> | 1.5710, 1.5711, 36NiCr6, 40NiCr6 |
| <b>Японія</b>    | SNC236                           |
| <b>Франція</b>   | 35NC6                            |
| <b>Англія</b>    | 640M40                           |
| <b>Китай</b>     | 40CrNi                           |
| <b>Швеція</b>    | 2530                             |
| <b>Болгарія</b>  | 40ChN                            |
| <b>Румунія</b>   | 40CrNi12, 40CrNi12q              |
| <b>Чехія</b>     | 16240                            |
| <b>Австралія</b> | 3140, 3140H                      |

### 3.3.2 Вплив хімічного складу на структуру та властивості сталі 40XH

Склад легованої сталі істотно впливає на її структуру, технологічні та експлуатаційні властивості. Основними легуючими елементами у сталі 40XH є С, Cr і Ni, кожен з яких відіграє ключову роль у формуванні кінцевих характеристик матеріалу.

С – основний компонент, який визначає базові механічні властивості сталі 40XH:

- зі збільшенням вмісту С підвищується міцність, але знижується пластичність;
- зростає поріг холодноламкості, зменшується ударна в'язкість;
- погіршуються технологічні властивості (знижуються зварюваність і здатність до деформації як у гарячому, так і в холодному стані).

Cr – поширений легуючий елемент у конструкційних сталях. Його вплив на структуру сталі виявляється у:

- підвищенні температури евтектоїдного перетворення (точка  $A_1$ );
- утворенні карбідів хрому ( $Cr_7C_3$ ,  $Cr_4C$ ), які твердіші й термічно стійкіші цементиту;

- покращенні твердості та міцності фериту (навіть при частковому розчиненні Cr у ньому);
- зменшенні критичної швидкості гартування, що сприяє глибокому загартуванню сталі;
- зниженні температури мартенситного перетворення, що дозволяє формувати дрібнозернисту структуру;
- підвищенні стійкості до відпуску (але при цьому з'являється схильність до відпускнуї крихкості, що вимагає швидкого охолодження після відпуску).

При вмісті Cr > 5% цементит витісняється карбідами Cr, які мають високу твердість до HRC (71–76) та температуру плавлення  $t > 1700$  °С.

### 3.3.3 Вплив легування на перлітне перетворення сталі 40ХН

Введення легуючих елементів, зокрема карбідоутворюючих (Cr, Mn), призводить до змін у діаграмі стану Fe–FeC:

- температура перлітного перетворення може підвищуватися або знижуватися;
- вміст С в евтектоїді (перліті) зменшується;
- точка S на діаграмі зміщується ліворуч (рис. 3.3);

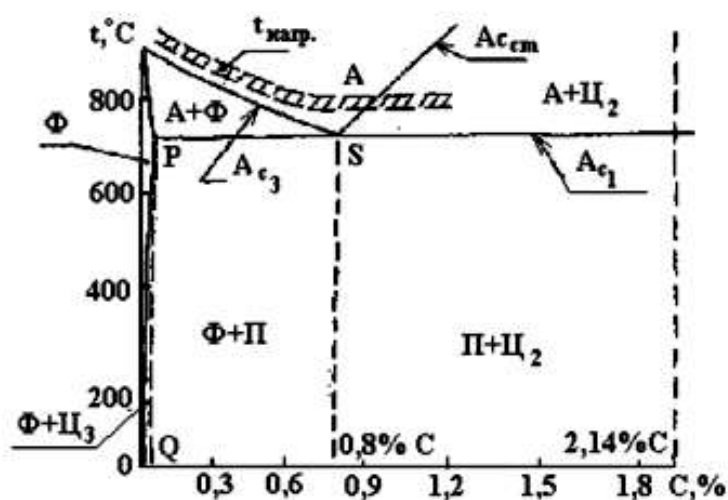
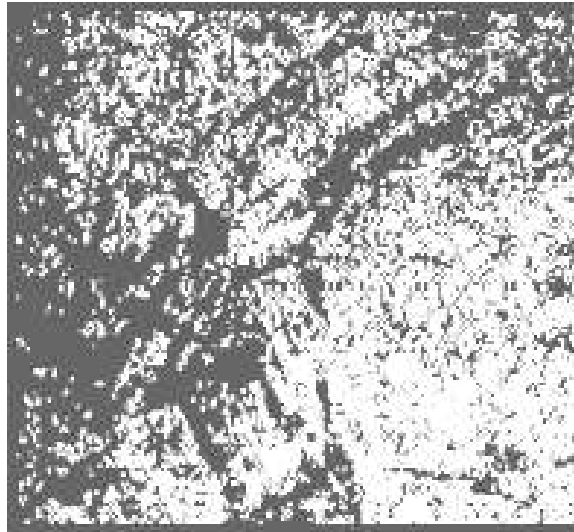


Рисунок 3.3 – Інтервал температур нагріву на діаграмі стану Fe-C при відпалі та гартуванні сталі 40ХН

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 25   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

- при верхній (610–660)°C формується ферито-цементитна структура;
- при нижній (320–420)°C формується голчастий троостит, що забезпечує високі характеристики міцності та твердості (рис. 3.4).



**Рисунок 3.4 – Мікроструктура голчастого трооститу сталі 40ХН**

### **3.3.4 Вплив карбідоутворюючих елементів на стійкість сталі 40ХН**

Необхідно враховувати, що карбідоутворюючі елементи підвищують стійкість аустеніту лише у тому випадку, якщо вони розчинені в аустеніті. У разі, коли карбіди знаходяться у вільному стані, вони навпаки знижують стійкість аустеніту. Це пояснюється двома причинами:

- карбіди є центрами кристалізації, які прискорюють розпад аустеніту;
- присутність карбідів зменшує вміст легуючих елементів та С в залишковому аустеніті, знижуючи його стабільність.

При підвищеному вмісті Cr у сталі утворюються спеціальні карбіди Cr, які зберігають високу твердість навіть при нагріванні до (410–470)°C. При подальшому підвищенні температури до (470–520)°C твердість сталі навіть зростає.

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 26   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

### 3.4 Термічна обробка сталі 40ХН та можливі дефекти

#### 3.4.1 Вибір режиму термічної обробки сталі 40ХН

З огляду на вимоги до експлуатаційних характеристик шліцьової втулки рекомендовано виконати такі операції термообробки:

– гартування при  $t = (850-870)^{\circ}\text{C}$  (на  $35^{\circ}\text{C}$  вище критичної температури  $A_{c3}$ ), з охолодженням в масло для підвищення твердості та міцності (для деталей до 25 мм) або у воді з подальшою витримкою в маслі (для великогабаритних виробів);

– поверхневе загартування струмами високої частоти для забезпечення формування високоміцного шару з твердістю (53-56) HRC;

– низький відпуск при  $(160-220)^{\circ}\text{C}$  на повітрі (щоб зняти залишкові напруження, знизити крихкість та стабілізувати структуру) з утворенням мікроструктури мартенситу (рис. 3.5).

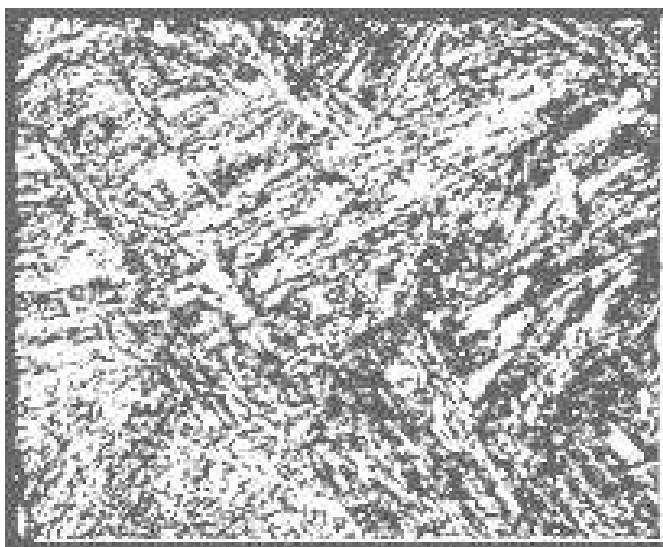


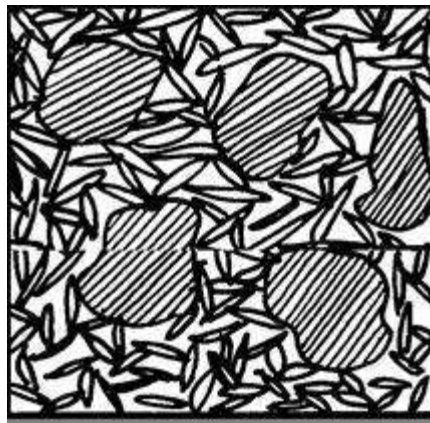
Рисунок 3.5 – Мікроструктура мартенситу сталі 40ХН

Нормалізація у цьому випадку не дає бажаних результатів, оскільки твердість сталі 40ХН після неї складає лише  $HV = (174-217)$ , що є недостатнім для роботи в умовах значного навантаження.

Після такого режиму обробки структура:

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 27   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

— поверхневий шар — мілкоголчастий мартенсит з включеннями надлишкового цементиту (рис. 3.6).



**Рисунок 3.6 – Мікроструктура сталі 40ХН після гартування в маслі (мартенсит і троостит)**

— серцевина — мілкозернистий ферит + перліт.

Карта ТП ТО шліцьової втулки кардану наведена у табл. 3.3.

**Таблиця 3.3 – Карта ТП ТО шліцьової втулки кардану**

| Найменування і зміст операції | Устаткування                             | Середовище обробки | Режим процесу   |                  |          |          |
|-------------------------------|--|--------------------|-----------------|------------------|----------|----------|
|                               |  |                    | Температура, °С | Тривалість, год. |          |          |
|                               |  |                    |                 | нагріву          | витримки | загальна |
| Гартування                    | Універсальна камерна піч СНО 8,5.17.5/10 | Масло              | 850             | 1,00             | 1,40     | 2,40     |
| Низький відпуск               |  | Повітря            | 200             |                  | 0,70     | 0,70     |

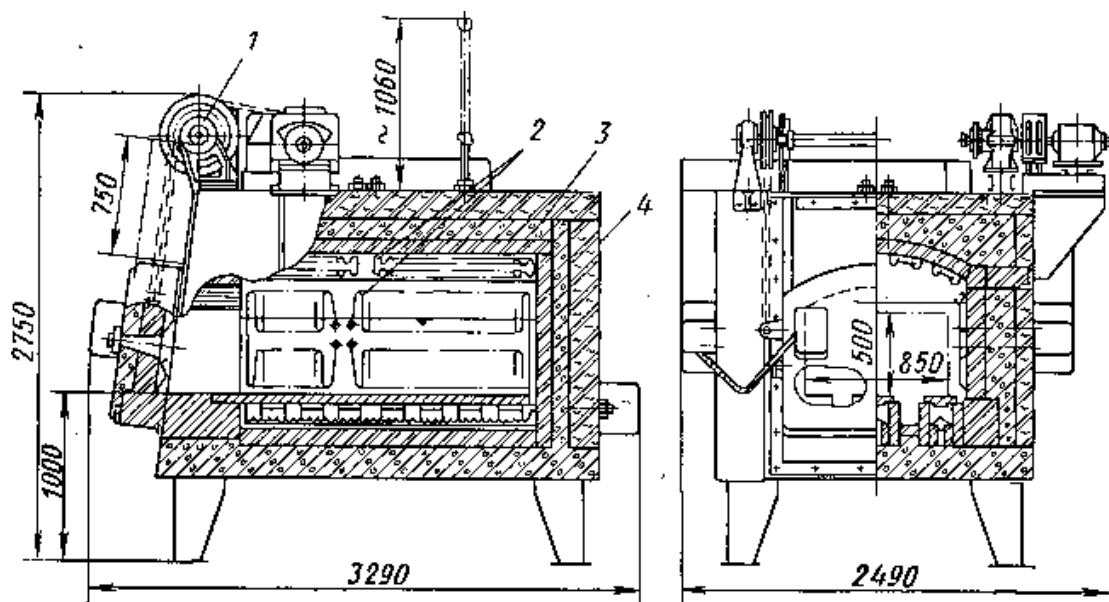
Основні механічні характеристики після термообробки сталі 40ХН:

- твердість (310-350) НВ;
- межа міцності на розрив – до 780 Н/мм<sup>2</sup>;
- межа текучості (630-640) Н/мм<sup>2</sup>;

— ударна в'язкість – до 60 Дж/см<sup>2</sup>.

### 3.4.2 Універсальна камерна піч СНО–8,5.17.5/10: конструкція та особливості моделі

Конструкція печі СНО–8,5.17.5/10 наведена на рис. 3.7.



1 – механізм підйому з дверцями; 2 – нагрівальні елементи; 3 – футерування;  
4 – кожух

**Рисунок 3.7 – Камерна електрична піч СНО-8,5.17.5/10**

Переваги камерної електропечі серії СНО з металевими нагрівачами:

- компактність і висока продуктивність;
- економна витрата електроенергії;
- довговічні нагрівальні елементи, завдяки застосуванню якісних вогнетривких і теплоізоляційних матеріалів, рівномірному розподілу тепла в робочому об'ємі;
- автоматичне регулювання температури.

Недоліки:

- наявність окислювальної атмосфери в робочому просторі (неможливе використання захисних або інертних газів);

|     |      |          |        |      |  |  |  |  |      |
|-----|------|----------|--------|------|--|--|--|--|------|
|     |      |          |        |      |  |  |  |  | Арк. |
|     |      |          |        |      |  |  |  |  | 29   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |  |  |  |      |

– ручний підйом дверей.

Особливості моделі СНО-8,5.17.5/10:

– розмір поду (850×1700) мм;

– футерування ультралежке вогнетривкою цеглою + теплоізоляція;

– нагрівачі (дріт Ø7 мм зі сплаву Х20Н80) розташовані на бічних стінках, зведенні і даху;

– живлення трифазне мережне через трансформатор ТПТ-60ВЧТ;

– максимальна  $t = 1000^{\circ}\text{C}$ ;

– автоматична система управління температурою;

– двері оснащені електромеханічним підйомом.

### 3.4.3 Дефекти термічної обробки сталі 40ХН та способи їх усунення

Дефекти термічної обробки сталі 40ХН та способи їх усунення наведені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Дефекти термічної обробки сталі 40ХН та способи їх усунення

| Дефект                        | Причина виникнення  | Метод усунення   |
|-------------------------------|---|--|
| Недостатня твердість          | Низька $t$ нагріву, мала витримка, слабе охолодження  | Повторна термообробка: нормалізація/відпал з повторним гартуванням |
| Перегрів                      | Надмірне перевищення $t$ гартування з утворенням крупнозернистої структури                            | Нормалізація або відпал з наступним гартуванням                    |
| Перепад                       | Нагрівання до $t = (1200-1310)^{\circ}\text{C}$ в окислювальній атмосфері з окисленням по межах зерен | Неусувний дефект   |
| Окислення та обезвуглецювання | Утворення окалини, втрата С у поверхневому шарі   | Шліфування дефектного шару, захист атмосфери печі                  |
| Короблення                    | Структурні зміни та внутрішні напруження  | Правка або рихтування після термообробки                           |
| Тріщини                       | Великі внутрішні напруження під час мартенситного перетворення  | Охолодження у маслі або за ступінчастою схемою                     |

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 30   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Найбільшу небезпеку становлять тріщини, які не підлягають усуненню. Запобігти їх виникненню допомагає грамотне конструювання деталей, уникнення різких переходів у геометрії та контроль температурного режиму.

Таким чином, сталь 40ХН повністю відповідає вимогам до матеріалу шліцьової втулки карданного валу завдяки:

- високій міцності та жорсткості;
- зносостійкості при циклічних навантаженнях;
- здатності працювати у складних експлуатаційних умовах;
- стабільності розмірів після термообробки.

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 31   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

## 4 Розробка технологічного процесу відновлення шліцьової втулки карданного валу ЗіЛ-131

Залежно від виду ремонтного виробництва ТП розробляються з різною глибиною деталізації. Для індивідуального, дрібносерійного та середньосерійного ремонтного виробництва обов'язково необхідно створювати маршрутну карту, специфікацію до технологічних документів та відомість технологічного оснащення, які забезпечують правильну організацію процесу.

МК — це офіційний документ, який детально описує ТП виготовлення або відновлення деталей по кожній окремій операції. У верхній частині цієї карти вказуються основні характеристики деталі: її номер, точні розміри, матеріал, твердість та маса, а також номер маршруту, що дає змогу ідентифікувати конкретний процес. Основна частина карти містить: стислий опис операцій, їх послідовність, необхідне обладнання, інструменти й пристосування, тривалість виконання кожної операції, а також розряд роботи згідно її складності.

У випадку, якщо на деталі збереглися базові поверхні, які використовувалися під час початкового виготовлення, під час відновлення орієнтуються саме на ці поверхні, як основні.

ОК є документом, який містить: номер; найменування та послідовність кожної окремої операції та переходу з точним вказанням оброблюваних та базуючих поверхонь, які позначаються відповідним чином на операційному ескізі. В ОК також детально вказують операційні розміри, допуски, а також необхідні дані про використовуване обладнання, пристосування та інструменти (з точними розмірами, назвами та шифрами). Крім того, вказуються: режими відновлення та механічної обробки; час, що витрачається на одиничне виготовлення, а також на одиничне калькуляційне виробництво; сума часу по всіх операціях і відповідні розряди для кожної з них.

Таким чином, для відновлення шліцьової втулки карданного валу автомобіля ЗіЛ-131 в умовах індивідуального або дрібносерійного ремонтного виробництва необхідно розробити наступний комплект технологічної документації:

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 32   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

- МК з описом усіх операцій відновлення;
- ОК для ключових операцій, таких як наплавлення, механічна обробка, нарізування різьби, протягування шліців тощо;
- відомість технологічного оснащення із списком використовуваного устаткування, інструментів та пристосувань;
- технічні умови на проведення контролю якості та приймання відновлених втулок.

Технологічний маршрут відновлення шліцьової втулки карданного валу наведений у табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Технологічний маршрут відновлення шліцьової втулки карданного валу

| Найменування операції  | Устаткування  | Технологічне оснащення та інструмент  |
|--|---|---|
| 005 Крацювання.<br>Зачистка поверхонь від забруднень               | Стіл, лещата верстатні 250 мм 7200-0225                               | Щітка металева, окуляри захисні ДСТУ 12.4.013-2005  |
| 010 Промивання. Мийка деталі від забруднень розчинниками           | Ванна для миття розчинниками ДСТУ 18297-2006                          | Рукавиці стійкі до розчинників, фартух, окуляри захисні   |
| 015 Сушіння атмосферне   | Компресор 50 літрів 1.5кВт Intertool PT-0003                          | Пневмопістолет продувальний ЛАЗ ПН 10-АА, рукавиці стійкі до розчинників                                  |
| 020 Зварювальна.<br>Наплавити поверхні під пази                    | Автоматичне зварювання у СО <sub>2</sub> , напівавтомат ПДГ-502 СЕЛМА | Щиток електрозварника НН-Е301У1, ДСТУ 124035-2008, рукавиці   |
| 025 Зварювальна.<br>Наплавити поверхню під зовнішню різьбу М70×1,5 | Автоматичне зварювання у СО <sub>2</sub> , напівавтомат ПДГ-502 СЕЛМА | Щиток електрозварника НН-Е301У1, ДСТУ 124035-2008, рукавиці   |
| 030 Зварювальна.<br>Наплавити зовнішню поверхню номінальним Ø70 мм | Автоматичне зварювання у СО <sub>2</sub> , напівавтомат ПДГ-502 СЕЛМА | Штангенциркуль ШЦ-I - 125 ДСТУ 166-89. Окуляри захисні ДСТУ 12.4.013-75, прохідний різець 2102-0055 Т15К6 |
| 035 Зварювальна.<br>Наплавити поверхню під шліци                   | Автоматичне зварювання у СО <sub>2</sub> , напівавтомат ПДГ-502 СЕЛМА | Щиток електрозварника НН-Е301У1, ДСТУ 124035-2008, рукавиці   |
| 040 Зварювальна.<br>Заварити отвір під різьбу К 1/8                | Автоматичне зварювання у СО <sub>2</sub> , напівавтомат ПДГ-502 СЕЛМА | Щиток електрозварника НН-Е301У1, ДСТУ 124035-2008, рукавиці   |
| 045 Фрезерувальна.   | Шпонково-фрезерний  | Фреза 63x10 Р6М5 ДСТУ 28527-  |

|   |                                       |   |
|---|---------------------------------------|---|
| Фрезерувати нові фіксуючі пази                                    | верстат 692Р                          | 2009, прихвати, призми  |
| 050 Токарна. Точити поверхню під різьбу М70×1,5                   | Верстат токарно-гвинторізний 16ТО1П   | Окуляри захисні ДСТУ 12.4.013-2005, мікрометр МК-100 ДСТУ 6507-78, різець прохідний 2102-0055 Т15К6   |
| 055 Токарна. Точити зовнішню поверхню номінальним Ø 70 мм         | Верстат токарно-гвинторізний 16ТО1П   | Окуляри захисні ДСТУ 12.4.013-2005, мікрометр МК-50 ДСТУ 6507-2008, різець прохідний 2102-0055 Т15К6  |
| 060 Довбання. Нарізувати нові шліци                               | Верстат довбальний 7А420              | Різець довбальний 2182-0601 ДСТУ 10046-2002 Р6М5  |
| 065 Свердлувальна. Свердлити отвір під різьбу К 1/8               | Верстат свердлувальний 2М55-1         | Штангенглибиномір ЩГЦ-200-001 ДСТУ 162-85, окуляри захисні ДСТУ 12.4.013-2005, свердло діаметром 9 мм 2301-0990 ДСТУ 10903-2007                                       |
| 070 Слюсарна. Нарізувати зовнішню різьбу М70×1,5                  | Ручна плашка для метричної різьби     | Стіл, лещата верстатні 250 мм 7200-0225, плашка М70×1,5 ДСТУ 24705-2005   |
| 075 Слюсарна. Нарізувати різьбу К 1/8                             | Ручний мітчик для трубної різьби      | Мітчик К 1/8 ДСТУ 3266-2001 (Р6М5)  |
| 080 Шліфувальна. Шліфувати поверхню з номінальним діаметром 70 мм | Верстат круглошліфувальний мод. 3Б161 | Мікрометр МК-75 ДСТУ 6507-2009, Круг абразивний ПП 100х20х20 14А F90 – 36, окуляри захисні ДСТУ 12.4.013-2005   |
| 085 Контрольна. Контролювати відповідність розмірів кресленню     | Контрольний стіл                      | Штангенциркуль ШЦ-III - 500 ДСТУ 166-2009, електромагнітний індикатор тріщин ЕМИТ-1М Штангенглибиномір ЩГЦ-200-001, ДСТУ 162-85, Мікрометр МК-75 ДСТУ 6507-89, дрантя |

#### 4.1 Доцільність відновлення шліцьової втулки карданного валу

Процеси відновлення та наплавлення деталей (як і повторне застосування різних видів матеріалів) супроводжуються певними матеріальними витратами та трудовими ресурсами. Тому перед початком виконання таких робіт проводять оцінку доцільності їх реалізації – як у технічному, так і в економічному плані [18].

При технічній доцільності відновлення враховують:

- специфічність чи унікальність деталі, яку необхідно відновити;
- можливість серійного виконання ремонтних операцій у разі типових дефектів;

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 34   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

- ступінь або рівень зношування елементів;
- наявність відповідних умов для збирання, підготовки та проведення ремонтних і відновлювальних операцій;
- забезпеченість необхідними матеріалами, витратними ресурсами й технічними засобами;
- очікуваний термін служби та ресурс деталі після відновлення.

Наплавлення — це процес нанесення на поверхню деталі металевого шару з визначеними характеристиками, необхідної товщини та складу. Цей шар забезпечує покращені експлуатаційні властивості, зокрема підвищену зносостійкість, твердість, корозійну стійкість та інші характеристики. Наплавлення дозволяє не тільки ефективно відновлювати зношені поверхні, а й значно продовжувати термін служби елементів техніки. Цей процес належить до найважливіших методів реновації й дозволяє суттєво зекономити природні ресурси, скоротити енерговитрати та знизити вплив на довкілля. Завдяки наплавленню ресурс відновленої деталі може зрости у 2–3 рази [18].

У загальному обсязі ремонтних операцій на підприємствах, що займаються ТО та ремонтом, наплавлення представлено такими основними способами:

- під флюсом — 31,0%;
- вібродугове — 12,0%;
- у середовищі CO<sub>2</sub> — 20,0%;
- порошковим дротом без флюсу і захисного газу — 10,0%;
- плазмове — 1,50%;
- електроконтактне — 6,0%;
- гальванічні методи — 5,0%;
- електромеханічна обробка — 1,0%;
- електрошлакове наплавлення — 1,50%;
- нанесення рідкого металу — 2,0%;
- полімерне відновлення — 5,0%;
- інші методи — 5,0%.

Економічна ефективність процесу наплавлення:

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 35   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

- 1 кг наплавленого металу здатен замінити виготовлення (16–26) кг нових деталей під час відновлення і (55–75) кг — при зміцненні;
- в середньому 1 кг наплавленого металу дає змогу відновити або зміцнити приблизно 20 кг деталей;
- після наплавлення ресурс деталі зростає у (2–5) разів;
- кожна вкладена гривня у проведення наплавлення забезпечує економію в діапазоні від 5 до 10 грн.

Переваги технології відновлення:

- висока мобільність процесу;
- можливість проведення робіт у будь-якому положенні деталі;
- реалізація всіх видів зварних з'єднань;
- зменшені вимоги до підготовки крайок і поверхонь;
- можливість видалення дефектного шару за допомогою струменя рідкого металу.

Недоліки даної технології:

- нижча продуктивність порівняно з іншими способами відновлення;
- потреба у спеціальних пристроях для утримання розплавленого металу;
- нерівномірне нагрівання матеріалу за товщиною, що може спричинити залишкові напруження та деформації;
- ризик виникнення небажаних хімічних реакцій і дифузійних процесів у зоні наплавлення.

#### **4.2 Параметри процесу відновлення та зміцнення шліцьової втулки**

Формування наплавленого шару металу – результат функціонування складної технічної системи, яка включає у себе такі основні елементи, як джерело живлення, джерело енергії, обладнання для наплавлення або зварювання, а також сам виріб. Усі ці компоненти взаємодіють між собою за допомогою численних зворотних зв'язків, формуючи багатофункціональну й багатозв'язкову систему.

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 36   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Ці зворотні зв'язки проявляються у тому, що навіть незначні зміни в процесі формування зварного або наплавленого шва викликають відповідні зміни в роботі системи нагрівання та живлення. Наприклад, під час дугового наплавлення зміни глибини проплавлення викликають зміну напруги в дузі, що безпосередньо впливає на параметри роботи джерела живлення. Аналогічно, при електрошлаковому зварюванні зміна температурних режимів у шлаковій або металевій ванні спричиняє зміни швидкості плавлення електродів і режимів роботи трансформатора [18].

Сучасні установки для наплавлення і зварювання використовують різноманітні джерела живлення:

- джерела змінного струму (зварювальні трансформатори спеціальної конструкції);
- джерела постійного струму (випрямлячі та генератори різного типу);
- джерела з акумульованою енергією (як приклад, акумуляторні батареї, конденсаторні накопичувачі).

Серед джерел енергії, які застосовуються у процесах зварювання та наплавлення, найбільше поширення отримали:

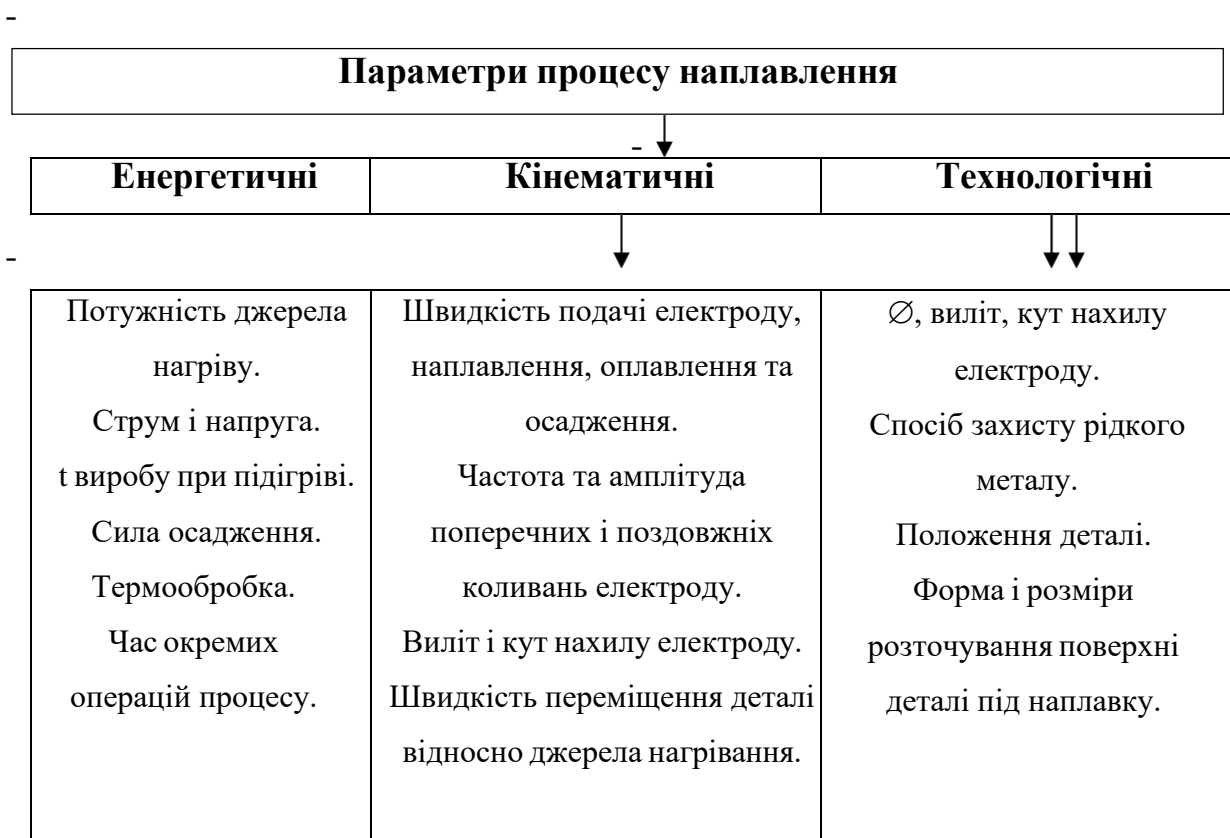
- електрична дуга (в дуговому, аргонодуговому, плазмовому зварюванні);
- теплова енергія від опору струму (як у випадку електрошлакового чи контактного зварювання);
- газове полум'я та термічні реакції;
- електронний промінь і лазер (в електронно-променевому та лазерному зварюванні відповідно).

Кожен спосіб наплавлення та зварювання характеризується певним набором узагальнених параметрів або координат, між якими існують складні взаємозв'язки. Наприклад, між силою струму і напругою в дуговому проміжку існує залежність, яка визначається характеристиками джерела живлення. Частота виникнення коротких замикань дуги краплями розплавленого металу також залежить від цих параметрів, однак ця залежність носить ймовірнісний характер і описується за допомогою спеціальних кореляційних функцій.

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 37   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Загалом, усю сукупність параметрів, які впливають на процес наплавлення та зміцнення деталей, можна умовно поділити на три основні категорії (табл. 4.2. – [18]):

Таблиця 4.2 – Параметри процесу наплавлення шліцьової втулки



1. Енергетичні параметри, які характеризують об'єм та інтенсивність подачі енергії в зону зварювання або наплавлення. Сюди входять сила струму, напруга, щільність теплового потоку та інші показники, які визначають ефективність теплового впливу.

2. Кінематичні параметри, які відображають переміщення джерела тепла відносно деталі або деталі відносно джерела. Вони включають швидкість подачі, траєкторію руху, кут нахилу та положення інструменту чи пальника.

3. Технологічні умови, які охоплюють параметри, що безпосередньо впливають на якість формування шва: спосіб переносу електродного металу, режим охолодження, кристалізація наплавленого шару, формування структурної зони шва тощо.

Ці фактори у своїй сукупності забезпечують керованість процесом наплавлення і зварювання та дозволяють досягти заданих технічних характеристик відновленої або зміцненої деталі.

#### 4.3 Наплавлення зносостійких шарів у середовищі захисних газів

У процесі наплавлення в середовищі захисних газів у зону горіння електричної дуги підводиться спеціальний газ під низьким тиском. Його основна функція полягає у витісненні повітря з активної області зварювання, що дозволяє ефективно ізолювати зварювальну ванну від дії  $O_2$  та  $N_2$ , які містяться в атмосферному повітрі. Це суттєво знижує ризик утворення оксидів, пор та інших небажаних дефектів у наплавленому металі, що особливо важливо при роботі з відповідальними деталями машин і механізмів [19].

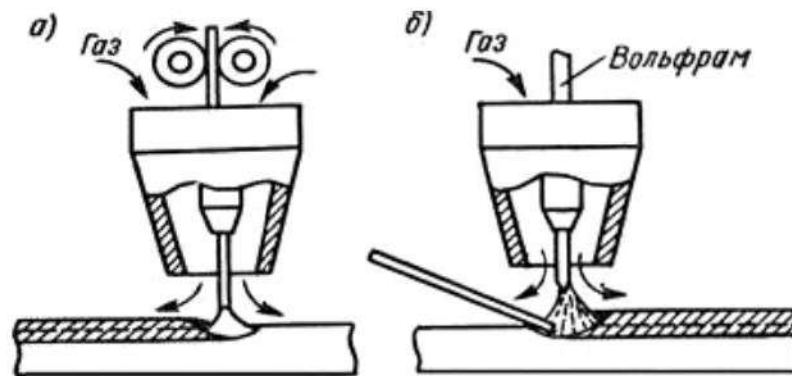
Види наплавлення поділяються залежно від характеру використаного газу. Так, активні гази (наприклад,  $O_2$ ,  $H_2$ ,  $CO_2$  тощо) можуть вступати в реакцію з розплавом, змінюючи властивості шва, тоді як інертні гази ( $He$ ,  $Ar$ , а також їх суміші, як-от  $Ar+He$ ) створюють стабільне середовище без хімічних взаємодій, що забезпечує високу якість наплавлення.

Наплавлення може здійснюватися із застосуванням плавкого або неплавкого електрода (див. рис. 4.1). У 1-му випадку використовується дріт суцільного перетину або порошковий дріт, який під час процесу плавиться і бере участь у формуванні наплавленого шару або шва. У 2-му випадку, при використанні неплавкого електрода, такий електрод виконує лише роль джерела дуги, а наплавний матеріал уводиться в зону дії дуги окремо у вигляді присадкового металевго прутка.

Найбільше застосування в умовах відновлення деталей отримали методи, що передбачають наплавлення в середовищі  $Ar$  та  $CO_2$ .  $Ar$  створює надійне інертне середовище, яке виключає небажані хімічні реакції, тоді як  $CO_2$ , попри свою активність, має високу доступність, нижчу вартість і забезпечує добру якість

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 39   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

наплавлення, що робить його дуже популярним у промисловій практиці, особливо в умовах масового та серійного ремонту.



а) – наплавлення плавким електродом; б) – наплавлення неплавким електродом

**Рисунок 4.1 – Схема наплавлення у середовищі захисних газів [19]**

#### **4.3.1 Загальна інформація про наплавлення у середовищі CO<sub>2</sub>**

Процес наплавлення в середовищі CO<sub>2</sub> за своєю суттю близький до електродугового наплавлення під флюсом, однак має низку характерних особливостей. Основною відмінністю є те, що захисним середовищем у цьому випадку виступає сам CO<sub>2</sub>, який подається безпосередньо в зону горіння дуги [20–22].

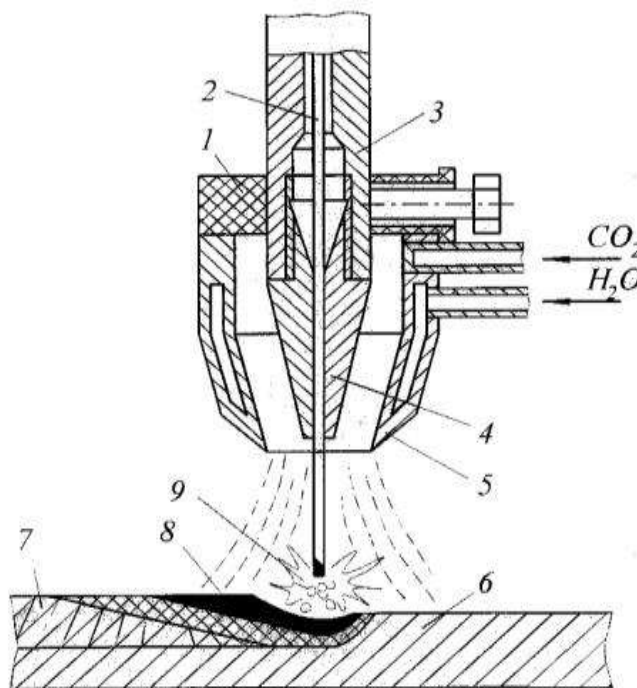
Серед основних переваг цього методу слід відзначити зниження ступеня нагріву самої деталі, що позитивно впливає на зменшення термічних деформацій і залишкових напружень. Крім того, метод дозволяє здійснювати наплавлення деталей будь-яких габаритів і геометричних форм, включаючи складні просторові конфігурації, а також у будь-якому просторовому положенні, що забезпечує високу технологічну гнучкість. Продуктивність процесу, як правило, на (25–30) % вища, ніж при інших методах дугового наплавлення.

Разом із тим, цей метод має і деякі недоліки. Серед них – інтенсивне розбризкування розплавленого металу, що може впливати на чистоту робочої

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 40   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

зони та вимагати додаткової обробки, а також сильне світлове випромінювання відкритої дуги, що потребує посиленого захисту з боку оператора.

Технічно процес виглядає наступним чином: електродний дріт безперервно подається у зону дугового горіння (див. рис. 4.2). Струм передається на дріт через контактний наконечник, який розміщується всередині мундштука пальника. Під дією високої температури електричної дуги на поверхні відновлюваної деталі формується рідка металева ванна, в якій інтенсивно перемішуються матеріал деталі та розплав електродного дроту [19].



1 – мундштук; 2 – дріт електродний; 3 – мундштук; 4 – кінцевик;  
5 – сопло; 6 – деталь; 7 – наплавлений шар; 8 – зварювальна ванна рідкого металу; 9 – електрична дуга

**Рисунок 4.2 – Схема наплавлення у середовищі CO<sub>2</sub> [19]**

Через сопло пальника в цю ж зону надходить CO<sub>2</sub>, який слугує бар'єром для атмосферного O<sub>2</sub>, тим самим захищаючи розплавлений метал. Однак в умовах високих температур цей газ частково дисоціює, що призводить до його взаємодії з розплавом. Як наслідок, виникає часткове окислення металу, можливе вигорання

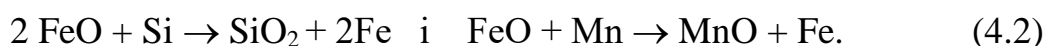
|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 41   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

С та легуючих елементів, а також утворення газових пор у наплавленому шарі. Таким чином, CO<sub>2</sub> виконує подвійну функцію: з одного боку – захисну, а з іншого – є джерелом потенційних хімічних реакцій, що можуть впливати на якість отриманого покриття.



Тому наплавлення йде не в чистому CO<sub>2</sub>, а в суміші газів CO<sub>2</sub>, CO и O<sub>2</sub>. У цьому випадку забезпечується практично повний захист розплавленого металу від N<sub>2</sub> повітря, але зберігається майже такий же окисний характер газової суміші, яким він був би при зварюванні голим дротом без захисту від атмосфери повітря. Отже, при зварюванні й наплавленню в середовищі CO<sub>2</sub> необхідно передбачати заходи щодо розкислення металу, що наплавляється.

Це завдання вирішується використанням наплавлювальних дротів діаметром (0,80-2,00) мм, до складу яких входять елементи розкислювачі. Найчастіше це Si (0,60-1,00%) і Mn (1,0-2,0%). При наявності таких компонентів розкислення окислів заліза відбувається по реакціях



У процесі наплавлення в середовищі CO<sub>2</sub> відбувається розкислення розплавленого металу, під час якого утворюються окисли Si та Mn. Ці оксидні сполуки, маючи меншу густину, ніж метал, спливають на поверхню наплавлювальної ванни. Після завершення процесу кристалізації наплавленого шару ці домішки формують тонку кірку на поверхні, яка легко видаляється, не впливаючи на якість з'єднання або відновленої поверхні.

Метод наплавлення у CO<sub>2</sub> має низку важливих технологічних переваг. Насамперед, його продуктивність є досить високою — вона не поступається, а в окремих випадках навіть перевищує продуктивність традиційного наплавлення під шаром флюсу.

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 42   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Однією з головних переваг є відсутність шлакової кірки, що значно спрощує післяопераційну обробку поверхні. Крім того, через високу концентрацію теплової енергії у зоні дуги досягається щільне локалізоване нагрівання, що знижує загальний тепловий вплив на деталь. Це, у свою чергу, дозволяє мінімізувати деформації виробу та зберегти точність його геометричних розмірів.

Завдяки таким умовам створюється можливість наплавлення тонких шарів металу — товщиною від 0,80 мм до 1,50 мм. Це особливо важливо при відновленні деталей із незначним зносом або при необхідності нанесення зносостійкого покриття.

Ще однією важливою перевагою є відносно невисока собівартість робіт, особливо у випадках використання активних захисних газів, таких як CO<sub>2</sub> або навіть водяна пара. Це робить метод особливо привабливим з економічної точки зору.

Також технологія наплавлення в середовищі CO<sub>2</sub> дозволяє здійснювати багат шарове наплавлення, що є критично важливим у випадках, коли необхідна товщина шару не може бути досягнута за один прохід.

Таким чином, за допомогою кількох проходів можна поступово наростити шар металу до потрібного розміру, зберігаючи при цьому якість та однорідність наплавленого матеріалу.

#### **4.3.1.1 MIG-MAG напівавтоматичне зварювання в середовищі CO<sub>2</sub>: переваги та особливості**

MIG-MAG – це дугове зварювання за допомогою плавкого електрода у вигляді дроту, який подається автоматично в зону дуги в середовищі інертного або активного газу.

Застосування ручного дугового зварювання з використанням покритих електродів за методом MAG характеризується низькою продуктивністю, а також потребує високої майстерності зварника й обов'язкової додаткової обробки зварного шва після завершення роботи [24]. З метою усунення вказаних недоліків

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 43   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

та підвищення якості зварювальних з'єднань було розроблено механізовану технологію дугового зварювання в середовищі активного захисного газу CO<sub>2</sub>. Основною особливістю цієї технології є механізоване подавання електродного дроту безпосередньо в зону зварювання, а також використання захисного газу високої чистоти — понад 98,0%, що надійно ізолює зварювальну ванну від впливу O<sub>2</sub> й N<sub>2</sub> з атмосфери, тим самим сприяючи формуванню якісного та міцного з'єднання.

Механізоване дугове зварювання умовно поділяють на дві категорії: автоматизоване (де механізовано як подачу дроту, так і переміщення зварювального пальника) і напівавтоматичне (де механізовано лише подавання дроту, а переміщення пальника виконується вручну). Серед цих 2-х способів найбільшої популярності набуло саме напівавтоматичне зварювання, завдяки своїй простоті, доступності, високій продуктивності, а також зниженим вимогам до професійної підготовки зварника.

Основні переваги напівавтоматичного зварювання:

- отримання якісного і рівномірного зварного шва;
- можливість зварювання тонколистових матеріалів;
- можливість роботи в будь-якому просторовому положенні шва;
- високу продуктивність порівняно з ручними методами;
- невелику вартість самого процесу (зокрема, через дешевизну активного захисного газу).

Разом з тим, цей метод не позбавлений і певних недоліків. До них можна віднести:

- значні втрати металу внаслідок розбризкування;
- можливість утворення пор у зварному шві через порушення захисного газового середовища;
- відносно низьку мобільність через необхідність використання балонів з вуглекислим газом.

Головною відмінністю напівавтоматичного зварювання в середовищі CO<sub>2</sub> (MAG) від традиційного ручного дугового зварювання є безперервна подача

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 44   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

присадкового дроту за допомогою спеціального пальника, при цьому не утворюється шлакова кірка, яка потребує видалення. Така організація зварювального процесу дозволяє суттєво підвищити не лише продуктивність, а й гігієнічність виконання зварювання, оскільки значно знижується кількість диму та окалини.

Для напівавтоматичного зварювання використовують постійний електричний струм зворотної полярності: мінусова клема приєднується до деталі, а плюсова — до пальника. У випадку з низьковуглецевими сталями найчастіше застосовується зварювальний дріт марки ER70S-6, який доступний у різних діаметрах — 0,80 мм, 1,00 мм, 1,20 мм та 1,60 мм [24].

Під час налаштування режимів зварювання важливо враховувати, що величина зварювального струму прямо залежить від швидкості подавання дроту. Відповідно, збільшення швидкості подачі спричиняє зростання сили струму, що, у свою чергу, впливає на глибину проплавлення матеріалу. Напруга ж зварювання визначає ширину шва та впливає на його зовнішній вигляд [24].

На додаток до високої якості зварного шва, яку забезпечує напівавтоматичне зварювання, значно полегшується процес запалювання дуги. Зникає потреба частої заміни електродів, як у випадку ручного зварювання, та усувається необхідність очищення шва від шлаку, що суттєво підвищує ефективність, зручність та швидкість виконання робіт [25].

Хоча метод часто називають «напівавтоматичним», це не зовсім коректно, оскільки в сучасній промисловості він застосовується також у повністю автоматизованому або навіть роботизованому режимі. У цьому випадку автоматизуються не лише подача дроту, а й рух зварювального пальника по шву [25].

Особливість методу MIG/MAG полягає в тому, що електродний дріт виконує подвійну функцію — він одночасно є струмопровідним елементом і присадним матеріалом. Під впливом високої температури дуги дріт плавиться та формує зварювальний шов. Зварювальник при цьому зазвичай вручну переміщує пальник уздовж шва, контролюючи напрямок та якість з'єднання [25].

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 45   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Велике значення для результату має правильний вибір зварювальних режимів: зокрема, напруги дуги, сили струму, швидкості подачі дроту та швидкості переміщення пальника. Крім того, важливим фактором є вибір захисного газу та точне регулювання його подачі. Для цього використовують редуктори з поплавковими витратомірами, які дозволяють точно дозувати потік газу в зону зварювання [25].

Захисний газ, що подається через сопло пальника, ізолює зварювальну дугу та ванну розплавленого металу від повітря. У стані плавлення метал стає хімічно активним, тому його взаємодія із газом може вплинути на якість шва. Інертні гази, такі як Ar або He, не реагують з металом, створюючи ідеальне захисне середовище. Активні гази, такі як CO<sub>2</sub> або газові суміші з O<sub>2</sub>, вступають у певні реакції з металом [25].

До нещодавнього часу O<sub>2</sub> був найбільш популярним захисним газом у напівавтоматичному зварюванні. Проте сьогодні все частіше використовуються багатокомпонентні суміші, які, окрім CO<sub>2</sub>, можуть містити Ar, O<sub>2</sub>, He або навіть N<sub>2</sub>, що дозволяє адаптувати захисне середовище до вимог конкретного процесу зварювання [25].

#### 4.3.2 Матеріали для наплавлення у середовищі CO<sub>2</sub>

При зварюванні вуглецевої сталі в середовищі CO<sub>2</sub> спостерігається окислювання важливих елементів, таких як Si, Mn та C, які містяться в сталі і визначають її основні властивості. З цієї причини для зварювання в CO<sub>2</sub> застосовують спеціальний кремене-марганцевистий дріт замість звичайного безкременистого чи маломарганцевистого, що дозволяє компенсувати втрати цих елементів в рідкому металі зварювальної ванни. Цей дріт забезпечує внесення в зварювальний шов достатніх кількостей Si і Mn, необхідних для отримання високоякісних зварних з'єднань, зокрема для сталі Св-08Г2С (див. табл. 4.3 – [23]).

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 46   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Таблиця 4.3 – Хімічний склад дроту Св-08Г2С ГОСТ 2246-70

| Масова доля елементів, % |           |      |                   |                  |                  |
|--------------------------|-----------|------|-------------------|------------------|------------------|
| С <sub>max</sub>         | Mn        | Si   | Cr <sub>max</sub> | S <sub>max</sub> | P <sub>max</sub> |
| 0,11                     | 1,80-2,10 | 0,90 | 0,20              | 0,025            | 0,025            |

Вибір діаметра дроту та режимів зварювання залежить від товщини металу, що зварюється, а також від його просторового положення, що впливає на параметри дуги та швидкість зварювання.

### 4.3.3 Обладнання для наплавлення у середовищі CO<sub>2</sub>

Щоб забезпечити високу якість наплавленого шару, необхідно правильно підібрати устаткування, яке повинне забезпечувати:

- а) підведення зварювального струму;
- б) подавання в зварювальну ванну електродного металу з швидкістю його плавлення;
- в) захист від впливу повітря зони зварювання;
- г) підтримувати стабільність процесу;
- д) надійне запалювання дуги із заварюванням кратера шва;
- е) надійність у застосуванні.

На сьогодні при використанні наплавлювального устаткування застосовують принципи уніфікації та агрегування, що забезпечує високий економічний ефект на всіх стадіях: проектування, виготовлення, експлуатації та ремонту [29].

Комплект обладнання для напівавтоматичного механізованого зварювання зазвичай включає: джерело живлення, механізм подачі дроту, зварювальний пальник та балон із захисним газом. Напівавтомати можуть бути однокорпусними, з інтегрованим механізмом подачі дроту (наприклад, модель MIG-169 N219), або двокорпусними (як-от MIG-400 N361). Двокорпусні зварювальні апарати, такі як серія Jasic, належать до професійного промислового класу та відзначаються надійністю, стабільною роботою у складних умовах експлуатації і забезпеченням високої якості зварного з'єднання протягом усього

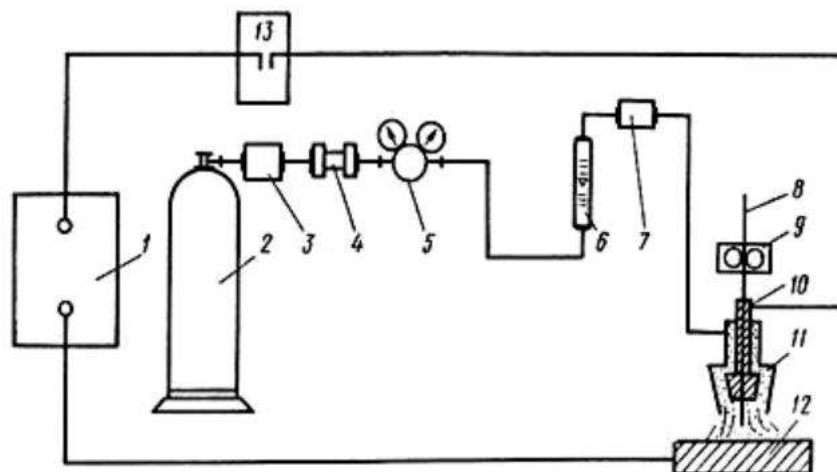
|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 47   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

терміну служби [24]. Подача газу відбувається з балона через спеціальний редуктор, що дозволяє регулювати витрати [25].

Комплект газової апаратури складається з:

- балону з  $\text{CO}_2$  під тиском  $P = 7,50$  МПа;
- редуктора, який понижує тиск газу до  $P = (0,12-0,15)$  МПа та інші вузли (рис. 4.3 – [19]).

Наплавлення у середовищі  $\text{CO}_2$  виконується на постійному струмі зворотної полярності. Марка електродного дроту вибирається у залежності від матеріалу відновлюваної шліцьової втулки та необхідних фізико-механічних властивостей наплавлюваного металу.



1 – джерело постійного струму; 2 – газовий балон; 3 – газовий підігрівач; 4 – газовий осушувач; 5 – редуктор; 6 – ротаметр; 7 – клапан газу; 8 – дріт електродний; 9 – привод для подавання електродного дроту; 10 – втулка струмоведуча; 11 – сопло пальника; 12 – шліцьова втулка; 13 – керуюча апаратура

**Рисунок 4.3 – Схема установки для наплавлення в середовищі  $\text{CO}_2$  при постійному струмі [19]**

Зварювання плавким електродом стало основним методом в сучасному виробництві, завдяки великій групі напівавтоматичних та автоматичних зварювальних апаратів [23]. Шлангові напівавтомати мають різні механізми подачі дроту: штовхаючий, тягнучий або комбінований, що дозволяє адаптуватися до різних умов зварювання. Вони мають велику портативність та

|     |      |          |        |      |  |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|--|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      |  | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |  |                         | 48   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |  |                         |      |

легкість у використанні, що дає перевагу в порівнянні з апаратами для зварювання під флюсом.

Сучасні напівавтомати також обладнані додатковими функціями, такими як режими постійної та програмованої подачі дроту. Це значно полегшує роботу зварника, забезпечуючи кращу якість зварного шва та зменшуючи трудові витрати. Наприклад, автоматизована відсічка захисного газу дає змогу забезпечити обдув кінцевої зони зварювання, що підвищує загальну якість з'єднання. Для запобігання дефектів в зоні зварювання застосовується метод заварювання кратера без руху пальника, що здійснюється за допомогою багаторазового натискання на гашетку пальника.

Важливим етапом є налаштування витрат захисного газу, які повинні відповідати параметрам паспорту пальника та режимам зварювання. Витрати газу повинні забезпечити ламінарний потік, без турбулентних процесів, оскільки це критично для якості зварювання. Надмірна або недостатня подача газу може призвести до утворення пор у металі або порушити стабільність газового потоку, що вплине на якість зварного шва.

При автоматичному зварюванні на високих швидкостях газовий струмінь може не встигати за зоною зварювання, тому застосовують спеціальні сопла, що мають форму, яка дозволяє ефективно подати газ до потрібної зони. Крім того, для запобігання налипанню крапель металу на соплах використовуються спеціальні матеріали, як-от мідні сопла, покриття або мастила на основі силікону.

Зварювання в захисних газах, як правило, виконується постійним струмом зворотної полярності, оскільки це забезпечує кращу стабільність процесу та високу якість шва. Використання постійного струму прямої полярності або змінного струму непрактичне через низьку стабільність і проблеми з формуванням шва.

Завдяки високій універсальності та можливості механізації та автоматизації зварювання в захисних газах, особливо з плавким електродом, стало популярним у різних галузях. Особливо це стосується використання роботизованих

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 49   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

автоматичних комплексів, що значно підвищують продуктивність та якість зварювання [23].

Відновлення шліцьової втулки за допомогою напівавтомату ПДГ-252 СЕЛМА (рис. 4.4) є прикладом застосування сучасного, ефективного методу дугового зварювання плавким електродом у захисному газовому середовищі. Цей напівавтомат широко використовується завдяки своїй функціональності, уніфікації комплектуючих та зручності в експлуатації.



**Рисунок 4.4 – Напівавтомат ПДГ-252 СЕЛМА [27]**

Напівавтомат ПДГ-252 СЕЛМА призначений для напівавтоматичного зварювання на постійному струмі електродним дротом у середовищі захисних газів виробів із вуглецевих сталей (MIG/MAG). Його виготовлено в одному корпусі. Він містить джерело живлення та вбудований підданий механізм. Параметри ПДГ-252 наступні [27]:

- плавне регулювання швидкості подавання дроту;
- поступеневе регулювання зварювального напруження;
- термозахист від перевантаження;
- смужка для встановлення балона із захисним газом;
- тип роз'єму пальника — євро;
- для зручності переміщення є колеса.

Технічні характеристики напівавтомату ПДГ-252 СЕЛМА наведені у табл. 4.4 [27].

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 50   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

Зварювальна головка напівавтомата ПДГ-502 СЕЛМА складається з пальника, з'єднаного зі шлангом, і мундштука, який забезпечує підведення струму до електродного дроту. Механізм подачі дроту винесено окремо. Він розміщується поруч із зварювальником, прошовуючи дріт через гнучкий шланг довжиною (3,0–4,0) м. Шланг виконує кілька функцій: є напрямним каналом для електродного дроту, а також містить дроти керування і кабелі для підведення зварювального струму.

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики напівавтомату ПДГ-252 СЕЛМА

| Найменування параметрів                      | Значення    |
|--|-------------|
| Напруга мережі живлення, В                   | 3 x 380     |
| Частота мережі живлення, Гц                  | 50,0        |
| Номінальний зварювальний струм, А (за ПВ, %) | 250 (40%)   |
| Грани регулювання зварювального струму, А    | 40,0-250,0  |
| Швидкість подавання дроту, м/год.            | 100,0-850,0 |
| Кількість ступенів регулювання               | 10,0        |
| Потужність подавального механізму, Вт        | 25,0        |
| Номінальна зварювальна напруга, В            | 26,0        |
| Напруга холостого ходу, В                    | 36,0        |
| Діаметр зварювального дроту, мм              | 0,80-1,20   |
| Маса напівавтомату, кг                       | 60,0        |
| Габаритні розміри, мм                        | 810x370x630 |

Пальник уніфікований і з'єднується з механізмом подачі швидкодіючими клемниками. Це дозволяє швидко змінювати пальники відповідно до умов зварювання, використовуючи стандартні елементи — наконечники, юпки, клеми тощо. Така уніфікація значно підвищує ремонтпридатність та гнучкість обладнання у виробничих умовах.

Комплектується ПДГ-502 СЕЛМА зварювальним випрямлячем ВДУ-504-УЗ (рис. 4.5). Цей випрямляч забезпечує отримання як жорстких, так і падаючих

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 51   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

зовнішніх характеристик струму, що дозволяє регулювати процес зварювання. Однак недоліком ВДУ-504-УЗ є його чутливість до коливань напруги в мережі живлення, що може негативно вплинути на стабільність дуги та якість шва [28].



**Рисунок 4.5 – Зварювальним випрямляч ВДУ-504-УЗ [28]**

Зварювальний випрямляч ВДУ-504-УЗ дійсно є універсальним і високофункціональним джерелом живлення, що дозволяє виконувати різні типи зварювальних робіт як у напівавтоматичному, так і в ручному режимі.

Основні особливості та переваги ВДУ-504-УЗ [28] – універсальність застосування. Він може використовуватись для:

- механізованого зварювання в середовищі  $CO_2$ ;
- автоматичного зварювання під флюсом;
- ручного дугового зварювання штучними електродами.

ВДУ-504-УЗ працює як з жорсткими, так і з падаючими зовнішніми характеристиками, що дозволяє адаптувати обладнання до різних технологічних умов і типів електродів.

Конструктивні елементи ВДУ-504-УЗ:

- трифазний стрижневий трансформатор з алюмінієвими обмотками;
- перемикач схеми з'єднання обмоток (трикутник/зірка) для регулювання режиму роботи;
- тиристорний силовий блок (для керування випрямленою напругою);

– магнітний підсилювач та дросель зварювального кола (для стабілізації струму);

– зрівняльний реактор (знижує пульсації напруги);

– емнісний фільтр (запобігає радіоперешкодам);

– система примусового охолодження з вентилятором.

Функціональні можливості ВДУ-504-УЗ:

– плавне дистанційне регулювання зварювального струму та напруги;

– стабілізація параметрів дуги при коливаннях напруги живлення;

– блок захисту двигуна вентилятора (для підвищення надійності);

– автоматичний вимикач (для захисту при перевантаженнях);

– дистанційний пульт управління (для спрощення контролю за режимами зварювання).

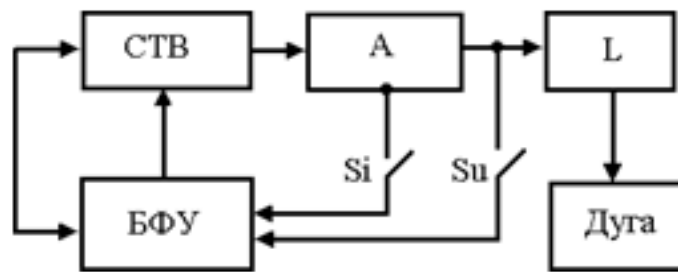
Основним недоліком ВДУ-504-УЗ є висока чутливість до коливань напруги в мережі. Без належного стабілізування живлення можливе порушення стабільності дуги й якості зварювання.

Загалом, ВДУ-504-УЗ ідеально підходить для використання з напівавтоматами типу ПДГ-502 у виробничих умовах, де потрібна гнучкість, регульованість і надійність зварювального процесу. Завдяки можливості роботи з різними характеристиками, випрямляч може адаптуватися під широке коло зварювальних завдань — від тонколистового металу до конструкцій під флюсом.

Функціональна блок-схема випрямляча наведена на рис. 4.6.

Лінійний дросель (L) виконує роль згладжувача пульсацій випрямленого струму, що особливо важливо для підтримки стабільної дуги та якісного формування зварного шва. Крім того, дросель сприяє зниженню розбрикування рідкого металу, що покращує зовнішній вигляд та міцність з'єднання. Клема підключення до більшої індуктивності (перша ступінь) застосовується при використанні падаючих зовнішніх характеристик на першій ступені регулювання у режимі жорстких характеристик. Вона дає кращу стабілізацію струму, що корисно для ручного дугового зварювання або зварювання на малих струмах.

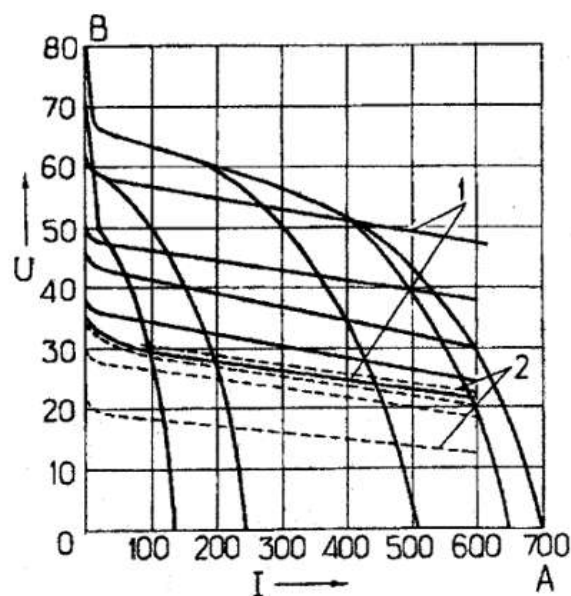
|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 53   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |



СТВ – силовий тиристорний випрямляч; БФУ – блок функціонального управління; А – магнітний підсилювач з датчиком струму; L – дросель лінійний; Si та Su – вимикачі, які умовно визначають наявність (вкл.) або відсутність (викл.) зворотного зв'язку відповідно по струму або напрузі

**Рисунок 4.6 – Функціональна блок-схема зварювального випрямляча ВДУ-504-УЗ**

Клема підключення до меншої індуктивності використовується на другій ступені регулювання при роботі з жорсткими характеристиками. Вона дає змогу забезпечити більшу жорсткість дуги, що може бути ефективним при високих струмах і механізованому зварюванні (рис. 4.7).



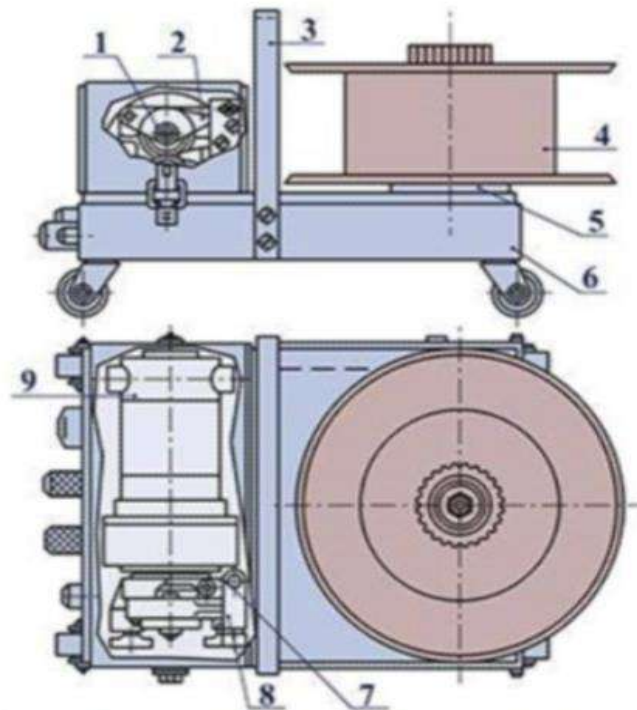
1 – перша ступінь; 2 – друга ступінь

**Рисунок 4.7 – Вольт-амперна характеристика зварювального випрямляча**

|     |      |          |        |      |
|-----|------|----------|--------|------|
|     |      |          |        |      |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Загалом, ПДГ-502 СЕЛМА у поєднанні з ВДУ-504-У3 забезпечує надійне виконання зварювальних робіт, зокрема при наплавленні вуглецевих сталей у середовищі захисного газу. Це обладнання добре підходить для умов серійного виробництва, де важлива як якість шва, так і зручність роботи зварника.

У напівавтоматі автоматизовано процес подачі захисного газу та електродного дроту в зону наплавлення за допомогою спеціального механізму (рис. 4.8).



1 – пристрій притискний; 2 – важіль; 3 – ручка; 4 – касета; 5 – пристрій гальмівний; 6 – основа; 7 – пружина плоска; 8 – гвинт регулюючий; 9 – електродвигун

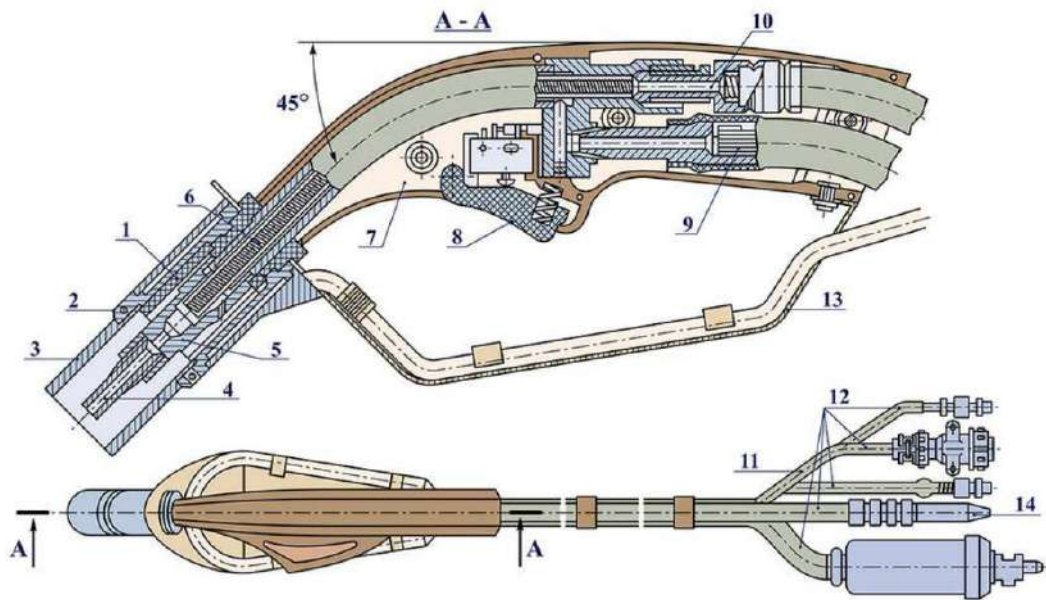
**Рисунок 4.8 – Механізм подачі електродного дроту**

Зварювальний палик призначений для ручного зварювання MIG/MAG електродним дротом у газовому середовищі (рис. 4.9). Метод MAG використовується для зварювання у середовищі CO<sub>2</sub> або газових сумішах. Метод MIG застосовують для зварювання кольорових металів у середовищі інертних газів.

Палик складається з таких основних елементів:

– кінцевик направляє дріт до зони зварювання;

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 55   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |



1 – сопло; 2 – кільце пружинне; 3 – сопло змінне; 4 – кінцевик; 5 – електротримач; 6 – спіраль; 7 – корпус; 8 – вмикач; 9 – канал напрямний; 10 – струмогазопідведення; 11 – керуючий провід; 12 – шланги; 13 – екран; 14 – кінцевик

**Рисунок 4.9 – Зварювальний пальник**

- рукоятка забезпечує зручність у триманні та керуванні;
- змінні частини та комплектуючі (кінцевик, сопло, вставка тощо);
- кабельний канал служить для подачі зварювального струму;
- канал подачі дроту з інтегрованою спіраллю;
- євро-адаптерний роз’єм служить для з’єднання з подаючим механізмом.

Експлуатаційні рекомендації:

1. Під час роботи потрібно постійно контролювати стан наконечника, сопла та спіралі, своєчасно очищаючи їх від бризок розплавленого металу.
2. Забороняється завдавати механічних ударів по соплу, так як це може призвести до їх деформації та порушення подачі дроту чи газу.
3. Для запобігання налипанню металу на сопло рекомендується використовувати антипригарні засоби – спеціальні спреї, пасти або мастила.

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 56   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

4. Необхідно дотримуватись номінальних режимів роботи зварювального пальника – перевищення технічних характеристик призводить до перегріву та зниження ресурсу компонентів.

5. Потрібно регулярно перевіряти відповідність діаметра дроту розмірам наконечника та спіралі – це запобігає заїданню дроту й підвищує стабільність зварювального процесу.

6. Потрібно здійснювати своєчасну заміну витратних матеріалів – кінцевика, сопла, вставки та спіралі.

#### 4.3.4 Розробка ТП наплавлення шліцьової втулки у середовищі CO<sub>2</sub>

Наплавлення шліцьової втулки у середовищі CO<sub>2</sub> виконується на постійному струмі при зворотній полярності за наступними параметрами:

- струм 50,0 А;
- напруга 20,0 В;
- швидкість зварювання 20,0 м/год.;
- подача дроту 145,0 м/год.;
- виліт електроду  $l = 10,0$  мм;
- індуктивність 6 витків;
- коефіцієнт наплавлення (при наплавленні на зворотній полярності)  $a_n = 11$  г/А-год.;
- витрата CO<sub>2</sub> 12,0 л/хв.;
- дріт ER70S-6 (Св-08Г2С), Ø 1,20 мм,
- твердість наплавленого шару НВ 220 (а після загартування – 45 HRC).

Маршрутні карти ТП відновлення втулки карданного валу вантажного автомобіля ЗіЛ-131 наведені на рис. А2, а операційні карти – на рис. А3-А6.

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 57   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

## Висновки

Наведені загальні відомості про вантажний армійський автомобіль ЗІЛ-131 (як базове шасі для ракетного комплексу «Точка-У», бойових машин 9К55 «Град» і 9Р138 «Град-1», транспортної машини 9Т450 з комплектом стелажів, FPV-дронів, військових прожекторів).

Представлені загальні відомості про карданну передачу ЗІЛ-131, її технічне обслуговування, дефекти та способи їх усунення.

Розглянуте призначення та конструктивні особливості шліцьової втулки карданного валу, її основні дефекти. Для її виготовлення застосували сталь 40ХН ДСТУ 7806:2015, яка відноситься до групи хромонікелевих легованих сталей. Для неї визначені властивості, переваги, замінники, зарубіжні аналоги, а також вплив:

- хімічного складу на структуру та властивості;
- легування на перлітне перетворення;
- карбідоутворюючих елементів на стійкість.

Проаналізовано вплив легуючих елементів (вуглецю, марганцю, хрому) на структуру і властивості сталі 40ХН. Особлива увага була приділена діаграмі стану Fe-Fe<sub>3</sub>C, а також особливостям фазових перетворень, які відбуваються у процесі термічної обробки.

Розроблений технологічний процес відновлення шліцьової втулки (наплавлення у середовищі CO<sub>2</sub>), який виконується на постійному струмі при зворотній полярності за наступними параметрами:

- струм - 50,0 А;
- напруга - 20,0 В;
- швидкість зварювання - 20,0 м/год.;
- подача дроту - 145,0 м/год.;
- виліт електроду -  $l = 10,0$  мм;
- індуктивність - 6 витків;
- коефіцієнт наплавлення (при наплавленні на зворотній полярності)  $an = 11$  г/А-год.;

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 58   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

- витрата CO<sub>2</sub> - 12 л/хв.;
- дріт ER70S-6 (Св-08Г2С), Ø 1,2 мм,
- твердість наплавленого шару НВ 220.

Розроблені маршрутні та операційні карти технологічного процесу відновлення шліцьової втулки карданного валу.

Після відновлення шліцьової втулки для неї вибраний наступний режим термічної обробки:

- гартування у маслі при температурі 850,0 °С протягом 2,40 год. в універсальній камерній печі СНО 8,5.17.5/10;

- низький відпуск на повітрі при температурі 200,0 °С протягом 0,70 год.

При цьому отримані основні механічні характеристики:

- твердість (310-350) НВ;
- межа міцності на розрив – до 780,0 Н/мм<sup>2</sup>;
- межа текучості (630-640) Н/мм<sup>2</sup>;
- ударна в'язкість – до 60,0 Дж/см<sup>2</sup>.

Вибраний режим дозволив забезпечити оптимальне співвідношення міцності, в'язкості та зносостійкості, що є гарантом надійної та довговічної роботи шліцьової втулки в умовах високих динамічних і вібраційних навантажень.

Наведена конструкція та особливості універсальної камерної електричної печі СНО – 8,5.17.5/10, її переваги, недоліки, особливості моделі.

Визначена мікроструктура сталі 40ХН після гартування в маслі, дефекти термічної обробки та способи їх усунення. Твердість наплавленого шару після наплавлення з наступним гартуванням складає 45 НРС.

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 59   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

## Список використаних джерел

1. Військовий ЗІЛ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://agro-business.com.ua/agrobusiness/item/25824-viiskovyi-zil.html>
2. 9К55 «Град-1» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/9K55\\_«Град-1»](https://uk.wikipedia.org/wiki/9K55_«Град-1»)
3. Військова бібліотека: автомобілі і бронетехніка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ukrmilitary.com/p/library-vehicle.html>
4. Trumpeter 01032 9P138 Grad-1 on ZIL-131 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.super-hobby.ru/products/9P138-Grad-1-on-ZIL-131.html>
5. Українські FPV-дрони уразили російські мінні загороджувачі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://military.com/uk/news/ukrayinski-fpv-drony-urazyly-rosijski-minni-zagorodzhuvachi/>
6. Військові прожектори для МВС [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.piddubny.com/vijskovi-prozhektory-dlya-mvs/>
7. Карданна передача [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/5721095/page:29/>
8. Карданна передача ЗІЛ-133 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://banga.ua/pages/gruzovie-sng/zil/avtomobili-semeystva-zil/zil-133/gl-5>
9. Карданний вал заднього моста до автомобіля ЗІЛ-131 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cardanmashproject.com.ua/ua/p1506838183-kardannyj-val-zadnego.html?srsIid=AfmBOoraQkUBW4tsIhkldhqgHRdU9v-fqWTEkGtzbIUmRjw8ETd3ONrv>
10. Карданний вал основний 131Д-2202011 до автомобіля ЗІЛ-131 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://artautomir.com.ua/ua/p1499745754-kardannyj-val-osnovnoj.html>
11. Вал карданний ЗіЛ 131, кардан середнього моста [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kord2003.com/uk/p/294699996-val-kardannyu-zil-131-kardan-srednego-mosta/>

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 60   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

12. Характеристика матеріалу 40ХН [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.splav-kharkov.com/mat\\_start.php?name\\_id=175](https://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=175)
13. Сталь 40ХН [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://auremo.vip/materials/stal-40hn.html>
14. Сталь марки 40ХН [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://metallischekiy-portal.ru/marki\\_metallov/stk/40XN](https://metallischekiy-portal.ru/marki_metallov/stk/40XN)
15. Коло сталь 40ХН: термообробка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.absolut-metall.com.ua/ua/index.php?route=journal2/blog/post&journal\\_blog\\_post\\_id=59](https://www.absolut-metall.com.ua/ua/index.php?route=journal2/blog/post&journal_blog_post_id=59)
16. Карданна передача [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%B0\\_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B0](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%B0_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B0%D1%87%D0%B0)
17. Зняття та встановлення карданної передачі вантажних автомобілів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mpl.com.ua/wp-content/uploads/Grupa-35-Dunayev-V.M.-Vyrobnyche-navchannya.pdf>
18. Гасило Ю.А. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Технологічні процеси і комплекси для наплавлення та зміцнення» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за спеціальністю 131 - Прикладна механіка за освітньо-професійною програмою «Технологія та устаткування зварювання». – Кам'янське: ДДТУ, 2017. – 18 с.
19. Наплавлення зносостійких шарів в середовищі захисних газів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/lr-11-naplavlennja-znosostijkyh-shariv-v-seredovyshchi-zahysnyh-haziv-z-dyscypliny-trybotehnika-133-hm.pdf>
20. Наплавлення в середовищі вуглекислого газу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib\\_upload/11/other/4\\_4\\_7\\_2\\_.pdf](https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/11/other/4_4_7_2_.pdf)
21. Наплавлення у середовищі захисних газів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://studfile.net/preview/9976418/page:61/>

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 61   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

22. Левкович М.Г. Методичні вказівки розроблені відповідно до навчального плану підготовки здобувачів вищої освіти, освітнього рівня бакалавр за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт». / М.Г. Левкович, М.Я. Сташків, М.Д. Сіправська. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. – 89 с.

23. Бережний С.П. Методичні вказівки до практичного заняття № 5 «Напівавтоматичне зварювання та наплавлення в середовищі захисних газів плавким електродом» з дисципліни «Вступ до спеціальності» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» усіх форм навчання / С.П. Бережний, О.Є. Капустян – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 10 с.

24. Вуглекислотне зварювання. МАГ зварювання в середовищі вуглекислого газу. Переваги та особливості [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://jasic.ua/ua/news/uglekislotnaya-svarka-35?srsltid=AfmBOoqCxbiHfjLg2jdBRacL1iUrdELvYw6KvxfdmV4B-xtDLEb1jtKD>

25. Напівавтоматичне зварювання MIG-MAG [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://kempfi.in.ua/articles/poluavtomat\\_svarka.htm](https://kempfi.in.ua/articles/poluavtomat_svarka.htm)

26. Напівавтоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/lesson/napivavtomatychno-zvariuvannia-v-seredovyshchi-vuhlekysloho-hazu-urok-7-8-407366.html>

27. Напівавтомат зварювальний ПДГ-252 СЕЛМА [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://deltaimpeks.com.ua/ua/p1753450-poluavtomat-svarochnyj-pdg.html>

28. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Зварювальні джерела живлення» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання / Укл. Ю.М. Савонов, О.Є. Капустян. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 81 с. – Режим доступу: <https://eir.zp.edu.ua/server/api/core/bitstreams/d67aa53f-91cc-4ed8-ae11-8a668bbb2128/content>

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 62   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

29. Биковський О.Г. Зварювання, різання й контроль якості під час виробництва металоконструкцій: підручник / О.Г. Биковський. – К.: Основа, 2021. – 400 с.

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
|     |      |          |        |      |                         | 63   |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

**Додатки**

|     |      |          |        |      |                         |      |
|-----|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |      |          |        |      | КРБМТВА 2522152. 000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                         | 64   |