

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені Володимира Даля  
КАФЕДРА ЗАЛІЗНИЧНОГО, АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ТА  
ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНИХ МАШИН**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА  
НА ТЕМУ:**

**«Підвищення надійності корпусів автозчеплень шляхом удосконалення  
технології їх ремонту»**

**Обсяг роботи:** - графічна частина – 9 слайдів;  
- пояснювальна записка – 82 с.

**Студент групи ЗТ-22д  
Керівник роботи**

**Андросов С. Л.  
к.т.н. Ковтанець М. В.**

**Київ 2026**

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Навчально-науковий інститут транспорту і будівництва  
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин  
(повна назва кафедри)

# ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

## до кваліфікаційної випускної роботи

|                  |                                                                        |
|------------------|------------------------------------------------------------------------|
| освітній ступінь | <u>бакалавр</u><br>(бакалавр, магістр)                                 |
| спеціальність    | <u>273 Залізничний транспорт</u><br>(шифр і назва спеціальності)       |
| спеціалізація    | <u>Локомотиви та локомотивне господарство</u><br>(назва спеціалізації) |

**на тему «Підвищення надійності корпусів автозчеплень шляхом удосконалення технології їх ремонту»**

|                               |            |                        |
|-------------------------------|------------|------------------------|
| Виконав: студент групи ЗТ-22д | _____      | <u>Андросов С. Л.</u>  |
|                               | ( підпис ) | (ініціали і прізвище)  |
| Керівник                      | _____      | <u>Ковтанець М. В.</u> |
|                               | ( підпис ) | (ініціали і прізвище)  |
| Завідувач кафедри             | _____      | <u>Климаш А. О.</u>    |
|                               | ( підпис ) | (ініціали і прізвище)  |
| Рецензент                     | _____      | _____                  |
|                               | ( підпис ) | (ініціали і прізвище)  |

Київ - 2026

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Навчально-науковий інститут транспорту і будівництва  
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра залізничного, автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин  
(повна назва кафедри)

Освітній ступінь бакалавр  
(бакалавр, магістр)

спеціальність 273 Залізничний транспорт  
(шифр і назва спеціальності)

спеціалізація Локомотиви та локомотивне господарство  
(назва спеціалізації)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ року

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

Андросов Сергій Леонідович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **«Підвищення надійності корпусів автозчеплень шляхом удосконалення технології їх ремонту»**

Керівник роботи Ковтанець Максим Володимирович, к.т.н., доцент,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджений наказом університету від “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ року № \_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи 12 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи: Вплив технологічних факторів на знос поверхнево-зміцнених матеріалів. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів для залізничної техніки. Підвищення зносостійкості та надійності корпуси автозчеплення.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Методи підвищення довговічності зношуваних поверхонь корпусу автозчепного пристрою. 2. Аналіз конструкції і роботи автозчепного пристрою. 3. Технологічний процес борування поверхні великого зубу корпусу автозчепного пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслеників):

- |                                                       |         |
|-------------------------------------------------------|---------|
| 1. Мета, об'єкт та задачі дослідження                 | - 2 сл. |
| 2. Автозчепний пристрій вагонного типу та його деталі | - 1 сл. |
| 3. Корпус автозчеплення у зборі                       | - 1 сл. |
| 4. Вид наплавленої поверхні деталі                    | - 1 сл. |
| 5. Способи наплавлення корпусу автозчеплення          | - 2 сл. |
| 6. Результати дослідження                             | - 1 сл. |
| 7. Висновки                                           | - 1 сл. |

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання «16» березня 2026 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів виконання кваліфікаційної випускної роботи                                         | Строк виконання етапів | Примітка |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------|
| 1     | Вступ. Актуальність проблеми. Постановка задачі дослідження, обґрунтування об'єкту дослідження  |                        |          |
| 2     | Дослідження методів підвищення довговічності зношуваних поверхонь корпусу автозчепного пристрою |                        |          |
| 3     | Аналіз конструкції і роботи автозчепного пристрою                                               |                        |          |
| 4     | Технологічний процес борування поверхні великого зубу корпусу автозчепного пристрою             |                        |          |
| 5     | Очищення тягової поверхні великого зубу та контроль результатів обробки                         |                        |          |
| 6     | Представлення результатів дослідження                                                           |                        |          |
| 7     | Підготовка ілюстративного матеріалу до захисту кваліфікаційної випускної роботи                 |                        |          |
| 8     | Пояснювальна записка до кваліфікаційної випускної роботи                                        |                        |          |
|       |                                                                                                 |                        |          |
|       |                                                                                                 |                        |          |
|       |                                                                                                 |                        |          |
|       |                                                                                                 |                        |          |
|       |                                                                                                 |                        |          |

Студент

\_\_\_\_\_

( підпис )

Андросов С. Л.

(ініціали і прізвище)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

( підпис )

Ковтанець М. В.

(ініціали і прізвище)

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна випускна робота: 82 с., 26 рис., 20 бібл. назв,  
9 слайдів.

Ключові слова: автозчепний пристрій (автозчеплення), довговічність, зношування, зносостійкість, термічна обробка, методи відновлення.

Робота присвячена розробці зміцнюючої технології, яка повинна забезпечити відновленим поверхням корпусу автозчеплення надійність роботи та довговічність від капітального до капітального ремонту. Бо підвищення швидкостей руху та вантажопідйомності рухомого складу залізничного транспорту призводить до зростання динамічних сил, що діють на локомотиви, вагони та залізничну колію. Це призводить до інтенсивного зношування деталей та вузлів, в т.ч і автозчепного пристрою, до зростання сил взаємодії між рейкою та колесом, до зниження стійкості транспортного засобу у рейковій колії, та є актуальною проблемою, яка потребує рішення.

Проведений аналіз можливих способів термічної та хіміко-термічної обробки, як ефективних методів відновлення автозчепного пристрою довів, що процес борування з обмазок з ТВЧ дозволяє отримати необхідну структуру поверхні.

Виконане дослідження показало, що удосконалення технології ремонту шляхом застосування процесу борування з обмазок з нагріванням ТВЧ для підвищення надійності та довговічності роботи поверхонь контуру зачеплення відновлених наплавленням корпусів автозчепних пристроїв вантажних вагонів має високу ефективність.

|           |      |           |        |     |                  |                                    |      |         |
|-----------|------|-----------|--------|-----|------------------|------------------------------------|------|---------|
|           |      |           |        |     | РДБ.ЗТ-22д.02 ПЗ |                                    |      |         |
| Зм.       | Арк. | № докум.  | Підпис | Дат | Реферат          | Літ.                               | Арк. | Акрушів |
| Розроб.   |      | Андросов  |        |     |                  |                                    |      |         |
| Перевір.  |      | Ковтанець |        |     |                  |                                    | 3    |         |
| Консульт. |      |           |        |     |                  | СНУ ім. В. Даля<br>Кафедра ЗАТ ПТМ |      |         |
| Н. Контр. |      |           |        |     |                  |                                    |      |         |
| Затверд.  |      |           |        |     |                  |                                    |      |         |

## ЗМІСТ

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП                                                                                                             | 5  |
| 1 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЗНОШУВАНИХ ПОВЕРХОНЬ КОРПУСУ АВТОЗЧЕПНОГО ПРИСТРОЮ                              | 7  |
| 1.1 Загальні відомості про автозчепний пристрій                                                                   | 12 |
| 1.2 Поверхні корпусу автозчепного пристрою, які зношуються                                                        | 14 |
| 1.3 Технології підвищення зносостійкості та надійності роботи поверхонь зачеплення корпусів автозчепних пристроїв | 17 |
| 1.4 Особливості процесу борування та його застосування для зміцнення деталей рухомого складу                      | 40 |
| 2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ І РОБОТИ АВТОЗЧЕПНОГО ПРИСТРОЮ                                                               | 57 |
| 2.1 Умови роботи поверхонь контуру зачеплення та деталей механізму зчеплення. Дефекти автозчепного пристрою       | 57 |
| 2.2 Матеріали для виготовлення корпусу автозчепного пристрою та деталей механізму зчеплення                       | 64 |
| 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС БОРУВАННЯ ПОВЕРХНІ ВЕЛИКОГО ЗУБУ КОРПУСУ АВТОЗЧЕПНОГО ПРИСТРОЮ                            | 68 |
| 3.1 Підготовка тягової поверхні великого зуба корпусу автозчепного пристрою                                       | 68 |
| 3.2 Підготовка обладнання                                                                                         | 71 |
| 3.3 Підготовка насичувальних та захисних сумішей                                                                  | 73 |
| 3.4 Приготування насичувальної та захисної обмазок                                                                | 75 |
| 3.5 Нанесення обмазок на тягову поверхню великого зуба, що обробляється                                           | 76 |
| 3.6 Нагрів ТВЧ та проведення процесу борування                                                                    | 76 |
| 3.7 Очищення тягової поверхні великого зуба та контроль результатів обробки                                       | 77 |
| ВИСНОВКИ                                                                                                          | 79 |
| ЛІТЕРАТУРА                                                                                                        | 81 |

## ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Підвищення швидкостей руху та вантажопідйомності рухомого складу залізничного транспорту призводить до інтенсивного зношування деталей та вузлів, до зростання сил взаємодії між рейкою та колесом, до зниження стійкості транспортного засобу у рейковій колії.

Автозчепний пристрій являє собою набір елементів і пристроїв, призначених для зачеплення один з одним вагонів і локомотива, що тягне, формуючи рухомий склад, при цьому зберігаючи відстань між вагонами однаковим і дозволяючи рухомому складу входити в повороти, залишаючи з'єднання досить гнучким. Автозчепний пристрій (автозчеплення) у процесі експлуатації зазнає різних навантажень, у тому числі: навантаження розтягування при строгуванні та русі складу; навантаження стиснення при гальмуванні та зупинці; ударні та згинальні навантаження в момент зачеплення, аварійного гальмування складу; кручення при вході рухомого складу в поворот, або перетині стрілочного перекладу. Він не захищений від пилу, бруду, атмосферних опадів та експлуатується в широкому інтервалі температур. Окремі поверхні деталей автозчепного пристрою працюють в умовах постійного тертя та інтенсивного абразивного зношування без змащувального матеріалу. Додатково до матеріалів цих деталей пред'являються високі вимоги до конструктивної міцності та запасу пластичності.

Корпус є основною частиною автозчепного пристрою: він сприймає та передає зусилля, ударні навантаження, а поверхні зачеплення в результаті тертя постійно зношуються. Протягом свого життєвого циклу кожен корпус автозчеплення в ідеальному випадку має проходити капітальний ремонт через 3 роки експлуатації, при якому зношені поверхні зачеплення відновлюються наплавленням зварювальними технологіями.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 5    |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

В силу особливостей процесу електродугового наплавлення та структури наплавлених шарів відремонтовані корпуси автозчепних пристроїв не допрацьовують до наступного капітального ремонту.

Як правило, їх надійна працездатність зберігається тільки протягом 2 років. Загальномережева кількість відновлених наплавкою корпусів автозчеплень, наприклад, у 2024 р. становила ~370 тис.шт., які не доопрацюють до чергового капітального ремонту. Отже, замість 10 ремонтів у період життєвого циклу кожен корпус відновленого автозчеплення із зношуванням поверхонь зачеплення проходитиме 15 ремонтів, що значно підвищує матеріальні, енергетичні та трудові витрати ремонтного виробництва.

Зважаючи на необхідність підвищення пробігу вагонів та локомотивів до 500 тис.км. за критерієм зносостійкості поверхонь контуру зачеплення корпусів автозчеплень, розробка методів підвищення довговічності та надійності їх експлуатації є нагальним та актуальним науково-технічним завданням залізничного транспорту.

**Об'єктом дослідження виступає** технологічний процес зміцнення поверхонь контуру зачеплення корпусів автозчепних пристроїв СА-3, відновлених наплавкою та експлуатованих на вантажних вагонах.

**Предметом дослідження є** структури поверхневого шару контуру зачеплення корпусів автозчепних пристроїв моделі СА-3, склади насичувальних та захисних обмазок, режими термічної обробки.

**Метою дослідження є** розробка методу підвищення довговічності відновлених наплавленням поверхонь контуру зачеплення корпусів автозчепних пристроїв вантажних вагонів.



## 1 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЗНОШУВАНИХ ПОВЕРХОНЬ КОРПУСУ АВТОЗЧЕПНОГО ПРИСТРОЮ

Характерною рисою розвитку сучасного машинобудування та транспортної техніки є безперервне ускладнення умов експлуатації та зростання енергонапруги.

Це пред'являє все більш високі вимоги щодо експлуатаційних характеристик, надійності та довговічності деталей машин та механізмів. У ряді випадків проблема працездатності деталей машин транспортної техніки, що зношуються, може бути вирішена методами термічної та хімікотермічної обробок. При цьому найбільш раціональним є комплексний підхід до вирішення цієї проблеми, що передбачає аналіз взаємозв'язку матеріалу, виду його термічної обробки, вихідної структури та властивостей зміцнюючого дифузійного шару, стану поверхні в процесі зношування та руйнування. Важливим аспектом комплексного підходу є розробка технологічних рекомендацій, що дозволяють обґрунтовано підійти до конструювання структури дифузійного шару з певним фазовим складом цільового призначення для конкретних умов експлуатації.

Підвищення швидкостей руху та вантажопідйомності рухомого складу залізничного транспорту призводить до зростання динамічних сил, що діють на локомотиви, вагони та залізничну колію. Це призводить до інтенсивного зношування деталей та вузлів, до зростання сил взаємодії між рейкою та колесом, до зниження стійкості транспортного засобу у рейковій колії. Додатково збільшується вплив транспортних засобів на шлях, що призводить до розладу шляхів та підвищених витрат на їх утримання.

Безперебійна робота і безпека залізниць залежать від надійності та довговічності вузлів і механізмів, що використовуються. Передчасне зношування може призвести до багатьох проблем, включаючи аварії, непередбачені простої, перебої в роботі, дороге технічне обслуговування та ремонт.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 7    |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

Ці проблеми, у свою чергу, призводять до зниження ефективності роботи транспортних засобів, зменшення задоволеності пасажирів та замовників вантажних перевезень та, зрештою, негативно позначаються на репутації та фінансових показниках галузі.

У зв'язку з розробкою плану реконструкції залізниць, які не задовольняли потребам у перевезеннях вантажів, було прийнято для впровадження автозчеплення ІРТ-3, яке пізніше було перейменовано на СА - 3 розроблене в Інституті реконструкції тяги. Інтенсивний переведення рухомого складу на автозчепний пристрій розпочався 1935 р. і закінчився 1957 р.

У той же час при бурхливому зростанні промислового виробництва в країні та відповідному зростанні обсягів перевезень технічні можливості автозчепного пристрою поступово переставали задовольняти вимогам, що зросли, тому проходило безперервне вдосконалення всіх складальних вузлів автозчепного пристрою.

Автозчепний пристрій призначений для автоматичного зчеплення одиниць рухомого складу та передачі поздовжніх сил. Воно складається з корпусу автозчеплення з розчіпним приводом, поглинаючого апарату, тягового хомута, ударної розетки, упорів та центруючого механізму.

Корпус автозчеплення СА-3 відливають із мартенівської сталі або електросталі. Він є основною частиною автозчеплення, яке сприймає та передає сили, ударні навантаження, в ньому розміщені деталі механізму зчеплення. Головна частина корпусу пустотіла (кишеня автозчеплення), що переходить у подовжений хвостовик, що має отвір для з'єднання з тяговим хомутом. Вона має два зуби: великий зуб з трьома ребрами, що підсилюють, і малий зуб з вертикальним технологічним і полегшуючим отвором. У простір між зубами (зів автозчеплення) виступають дві деталі механізму зчеплення – замок і замкоутримувач, які у плані складають контур зачеплення. У кишені головної частини розміщується механізм зчеплення, що складається із замка,

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 8    |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

замкоутримувача, запобіжника, підйомника, валика підйомника та болта [1 - 4].

Основним видом зношування поверхонь контуру зачеплення є абразивне зношування, так як деталь працює на відкритому повітрі при значних перепадах температур. Зношування тягових і ударних поверхонь зубців корпусу автозчеплення може призвести до збільшення зазорів у контурі зачеплення. Це у свою чергу може бути причиною збільшення ударних навантажень на всі робочі поверхні, наприклад, замка, що викличе подальший прогресуючий зношування та саморозчіп. Таким чином, працездатність, надійність та безвідмовність автозчепного пристрою у роботі пов'язані з безпекою руху поїздів.

Зношені поверхні корпусу автозчеплення піддаються відновленню розмірів шляхом наплавлення методами зварювального виробництва. При цьому довговічність відновлених поверхонь деталей становить ~75% довговічності вихідних поверхонь. Причиною цього є дефекти наплавленого металу (газові та шлакові раковини) та його тендітна дендритна будова, тендітна відманштеттова структура металу основи під наплавленим шаром (зона термічного впливу) в результаті неодноразового перегріву та залишкові зварювальні напруги, що розтягують. Таким чином, відновлені поверхні забезпечують надійність та довговічність експлуатації корпусу автозчеплення до 2 років.

Виправлення недосконалостей може бути частково здійснено методами хіміко-термічної обробки: цементациєю, азотуванням і боруванням. При цьому цементация вимагатиме подальшого загартування з додаткового нагріву для утворення мартенситу і необхідної твердості, при цьому загартовані структури нестійкі під час нагрівання під час експлуатації, який у мікрооб'ємах на поверхнях тертя може досягати 1000 °C [5, 6].

Азотування забезпечить деяке підвищення твердості та утворення напруг стиснення на поверхні, але збереже тендітну структуру наплавленого

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 9    |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

шару та металу основи внаслідок низької температури обробки (550-650 °С), недостатньої для проходження процесів перекристалізації.

Борювання може забезпечити композиційну структуру в широкому інтервалі твердості (250-1300 кгс/мм<sup>2</sup>) з температурною стійкістю (до 900 °С), що стискають залишкові напруги на поверхні, що в кінцевому підсумку забезпечить надійність та довговічність експлуатації відновленого корпусу автозчеплення протягом 3 років до чергового капітального ремонту.

Виходячи з вищесказаного, корпус є основною частиною автозчеплення: він сприймає та передає зусилля, ударні навантаження, а поверхні зачеплення в результаті тертя постійно зношуються. Протягом свого життєвого циклу кожен корпус автозчеплення в ідеальному випадку має проходити капітальний ремонт через 3 роки експлуатації, при якому зношені поверхні зачеплення відновлюються наплавленням зварювальними технологіями. В силу особливостей процесу електродугового наплавлення та структури наплавлених шарів відремонтовані корпуси автозчепних пристроїв не допрацьовують до наступного капітального ремонту. Як правило, їх надійна працездатність зберігається тільки протягом 2 років. Загальномережева кількість відновлених наплавкою корпусів автозчепних пристроїв, наприклад, у 2024 р. становила ~370 тис. шт., які не доопрацюють до чергового капітального ремонту. Отже, замість 10 ремонтів у період життєвого циклу кожен корпус відновленого автозчеплення із зношування поверхонь зачеплення проходитиме 15 ремонтів, що значно підвищує матеріальні, енергетичні та трудові витрати ремонтного виробництва.

Таким чином, пошук технологічних процесів, здатних вирішити поставлену проблему, є дуже актуальним, а найбільш прийнятним процесом зміцнення є борювання, яке підвищить надійність та довговічність відновлених поверхонь. При цьому, враховуючи, що зношування піддаються лише окремі ділянки поверхонь, що взаємодіють, раціонально застосування процесу борювання з обмазок з нагріванням ТВЧ.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 10   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

Займалися роботами щодо підвищення зносостійкості деталей рухомого складу методами термічної та хіміко-термічної обробки.

Дуже ефективними напрямками підвищення зносостійкості багатьох деталей рухомого складу є процеси поверхнево-об'ємного загартування та борування. У цій роботі розглядається проблема підвищення надійності та довговічності експлуатації корпусу автозчеплення, а саме контуру зачеплення та деталей механізму зчеплення вантажних та пасажирських вагонів шляхом застосування борірування з обмазок з нагріванням ТВЧ.

Успішному вирішенню питання управління структурою та властивостями борірованих шарів, одержуваних на низьколегованих сталях, та науковому обґрунтуванню вибору температур обробки сприяло в даній роботі застосування методики побудови схем багатокомпонентних діаграм стану ( $n > 3$ ) у традиційних координатах температура-концентрація та методики розрахунку евтектичних концентрацій та температур за температурами температур розрахованих температур плавлення при взаємодії нових евтектичних сумішей [15-18].

Застосування методик дозволило визначити умови формування компактних та композиційних борованих шарів у кристалічному та рідкотвердому станах зміцнюваних поверхонь зі збереженням їх шорсткості при нагріванні ТВЧ.

Виконані дослідження з розробки насичувальних обмазок для борування з нагріванням ТВЧ з отриманням компактних і композиційних шарів борованих з широким комплексом експлуатаційних властивостей дозволяють підвищити надійність і довговічність зношуваних поверхонь контуру зчеплення автозчепного пристрою вантажних вагонів протягом 3 років. При цьому порівняння зносостійкості сталей, оброблених за стандартними технологічними процесами та зміцнених боруванням дозволяють зробити висновок, що міжремонтний пробіг зміцнених деталей зносостійкості може бути збільшений до 500 тис. км.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 11   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

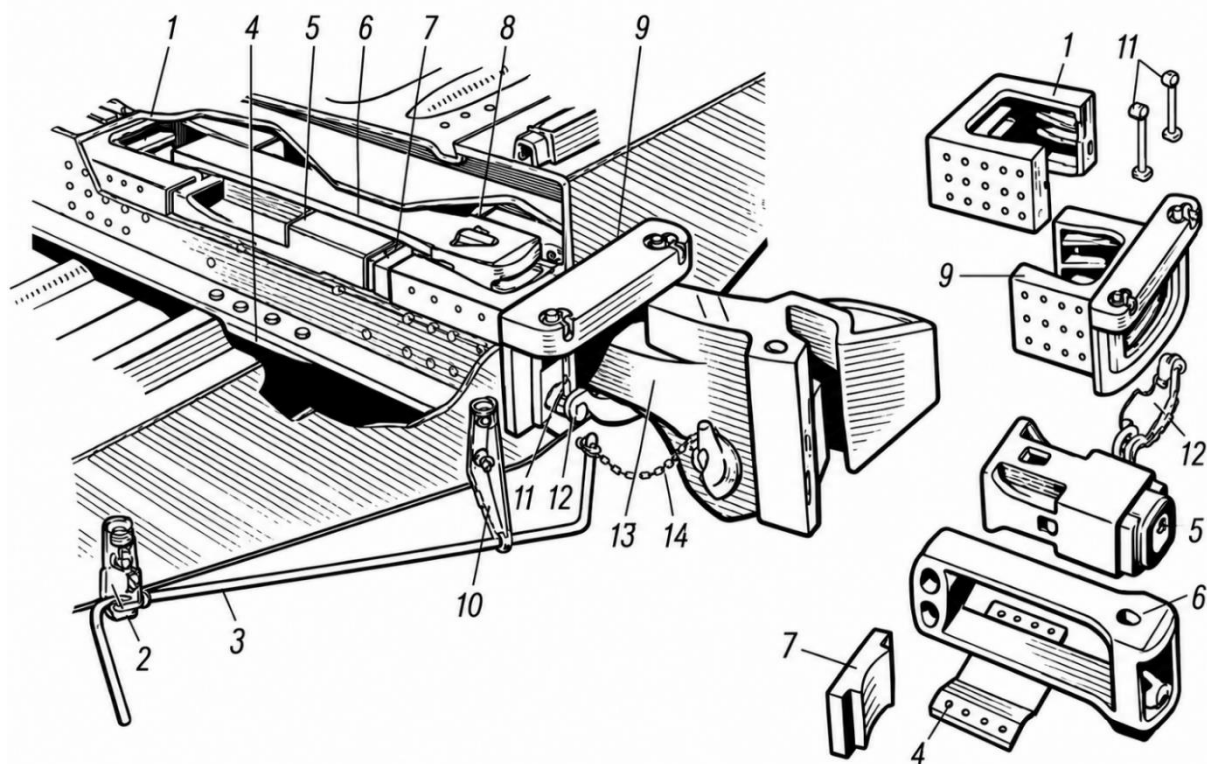
## 1.1 Загальні відомості про автозчепний пристрій

Автозчепний пристрій являє собою набір елементів і пристроїв, призначених для зачеплення один з одним вагонів і локомотива, що тягне, формуючи рухомий склад, при цьому зберігаючи відстань між вагонами однаковим і дозволяючи рухомому складу входити в повороти, залишаючи з'єднання досить гнучким. Автозчепний пристрій у процесі експлуатації зазнає різних складних навантажень, у тому числі: навантаження розтягування при строгуванні та русі складу; навантаження стиснення при гальмуванні та зупинці; ударні та згинальні навантаження в момент зачеплення, аварійного гальмування складу; кручення при вході рухомого складу в поворот, або перетині стрілочного перекладу.

Автозчепні пристрої розділені на дві групи: механічні, що автоматично зчеплюють одиниці рухомого складу, і уніфіковані, які крім зчеплення забезпечують з'єднання міжвагонних комунікацій, що включають один або два повітропроводи, а при необхідності і контакти електро і радіо ланцюгів, а також паропроводи опалення.

Вузли та деталі автозчепного пристрою вагонного типу мають певне функціональне призначення (рисунок 1.1) [1].

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-228.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 12   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |



1 – задній упор; 2 – фіксуючий кронштейн; 3 – розчіпний важіль;  
 4 – підтримуюча планка; 5 - поглинаючий апарат; 6 - тяговий хомут;  
 7 – упорна плита; 8 – клин; 9 – передній упор; 10 – підтримуючий  
 кронштейн; 11 – маятникова підвіска; 12 – центруюча балочка; 13 – корпус  
 автозчепного пристрою; 14 – ланцюг

Рисунок 1.1 – Автозчепний пристрій вагонного типу та його деталі [1]

Механічні автозчепні пристрої застосовуються для зчеплення вантажних та пасажирських вагонів загального призначення; у своїй міжвагонні комунікації з'єднуються вручну. Уніфіковані автозчепні пристрої встановлюють на спеціальному рухомому складі: вагонах метрополітенів, деяких типах закордонних дизель- та електропоїздів та ін.

Поглинаючий апарат 5 пом'якшує удари та ривки, оберігаючи рухомий склад, вантажі та пасажирів від шкідливих динамічних впливів. Тяговий хомут через 6 клин 8 передає поглинаючому апарату тягове зусилля від автозчеплення.

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

РДБ.3Т-220.02 ПЗ

Арк.

13

Передній 9 і 1 задній упори (об'єднані упорні косинці), розташовані між стінками хребтової балки, передають навантаження на раму. На сучасному рухомому складі передній упор відлитий разом із ударною розеткою. Тягові зусилля від поглинаючого апарату передаються на передній упор через упорну плиту 7. Задній упор сприймає ударні навантаження безпосередньо від корпусу поглинаючого апарату.

Ударна розетка упору 9 призначена для посилення кінцевої балки рами вагона або локомотива та сприйняття в деяких випадках частини удару безпосередньо від автозчеплення поряд з поглинаючим апаратом. Центрувальний прилад, що складається з двох маятникових підвісок 11 і балочки 12, що центрує, повертає автозчеплення після бокового відхилення в центральне положення. Розчіпний привід служить для розчеплення автозчепів. Він складається з розчіпного важеля 3, ланцюга 14 і деталей, що підтримують – фіксує кронштейна 2 і підтримуючого кронштейна 10, укріплених на кінцевій балці. Підтримуюча планка 4 утримує автозчеплення у горизонтальному положенні на певній висоті, передбаченої настановним кресленням [1-3].

Для забезпечення надійної роботи вузлів та деталей автозчепного пристрою, а також їх взаємозамінності основні настановні розміри повинні відповідати ГОСТ 3475-81 [16].

## 1.2 Поверхні корпусу автозчепного пристрою, які зношуються

Корпус є основною частиною автозчепного пристрою: він сприймає та передає сили, ударні навантаження, в ньому розміщені деталі механізму зчеплення. Головна частина корпусу 3 (рисунок 1.2) пустотіла (кишеня автозчеплення), що переходить у подовжений хвостовик 1, що має отвір 2 для з'єднання з тяговим хомутом.

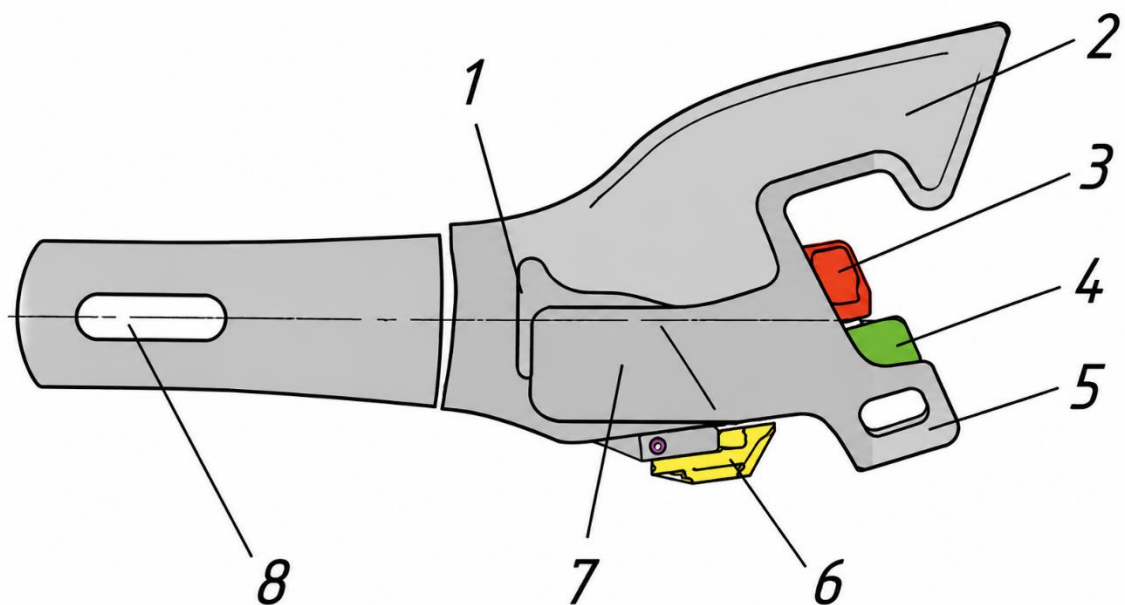
Вона має два зуби: великий зуб 4 з трьома ребрами, що підсилюють, і малий зуб 7 з вертикальним технологічним і полегшуючим отвором.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 14   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |



У простір між зубами, що називається зівом автозчеплення, виступають дві деталі механізму зчеплення – замок 6 і замкоутримувач 5. Їх обрис, великий і малий зубів у плані утворюють контур зачеплення [17].

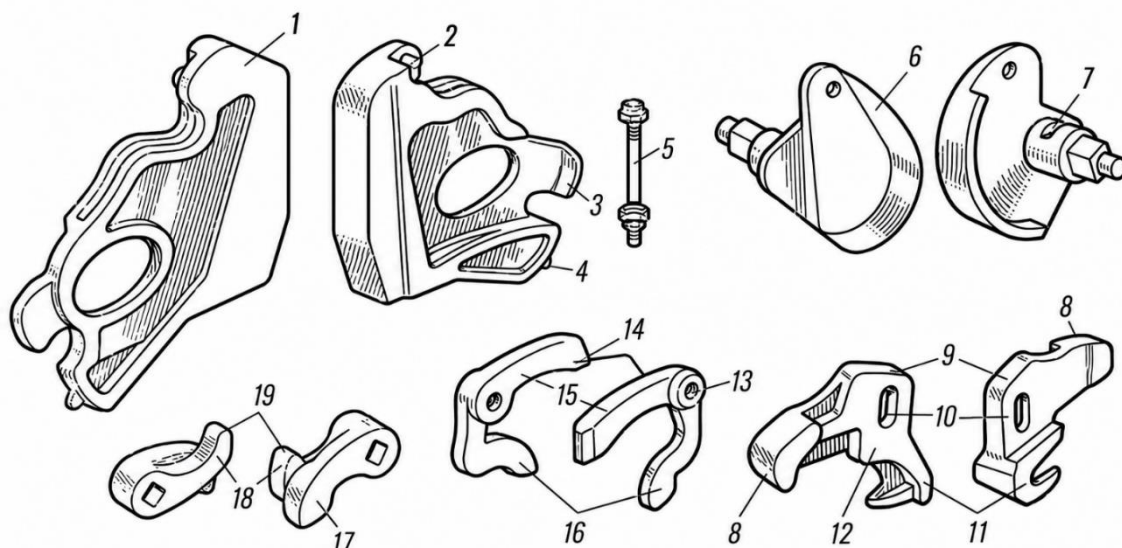
У кишені головної частини розміщується механізм зчеплення (рисунок 1.3), що складається із замка 1, замкоутримувача 9, запобіжника (собачки) 14, витягу 18, валика витягу 6 і болта 5 [11].



1 – упор; 2 – великий зуб; 3 – замкоутримувач; 4 – замок; 5 – малий зуб;  
6 – валик підйомнику; 7 – корпус; 8 – отвір для клину

Рисунок 1.2 – Корпус автозчеплення у зборі [20]

Деталі механізму зчеплення представлені на рисунку 1.3



1 – замок; 2 – шип замка; 3 – сигнальний відросток; 4 – напрямний зуб;  
 5 – болт; 6 – валик підйомника (витягу); 7 – паз валика; 8 – противага;  
 9 – замкоутримувач; 10 - овальний отвір; 11 – лапа; 12 – виступ; 13 – отвір;  
 14 – запобіжник (собачка); 15 – верхнє плече запобіжника; 16 – нижнє плече  
 запобіжника; 17 – вузький палець; 18 – підйомник; 19 – широкий палець  
 Рисунок 1.3 – Деталі механізму зчеплення та поверхні, що зношуються [13]

При складанні механізму зчеплення підйомник (витяг) 18 кладуть на опору, розташовану на стінці кишені автозчеплення з боку великого зуба так, щоб широкий палець 19 був повернутий догори, а в поглиблення підйомника входив приплив корпусу. На шип великого зуба овальним отвором 10 навішують замкоутримувач 9. Перед установкою замку 1 на його шип 2 отвором 13 навішують запобіжник 14 і повертають так, щоб нижнє його плече 16 вперлося у вертикальну стінку замка. При встановленні замка в корпус необхідно натискати будь-яким стрижнем на нижнє плече запобіжника; верхнє його плече 15 має бути вищим за полицку кишені; напрямний зуб 4 повинен увійти в отвір у дні кишені. Потім в отвір корпусу з боку малого зуба вводять валик підйомника 6 і фіксують його болтом 5, що встановлюється в припливі корпусу головкою до верху, болт повинен проходити через паз 7 валика.

Після цього перевіряють правильність складання: спочатку, натискаючи на замок, переміщують його всередину кишені і відпускають, а потім повертають валик підйомника вщент проти годинникової стрілки і також відпускають. Усі деталі повинні вільно повертатися у початкове становище. Розбирання проводять у зворотній послідовності [7-9].

Таким чином, в результаті взаємодії поверхонь корпусів автозчеплення між собою та з деталями механізму зчеплення при експлуатації спостерігається інтенсивне зношування поверхонь контуру зачеплення корпусів, яким і приділено основну увагу в даній роботі.

### 1.3 Технології підвищення зносостійкості та надійності роботи поверхонь зачеплення корпусів автозчепних пристороїв

Відновлення розмірів зношених поверхонь корпусу автозчеплення рухомого складу проводиться шляхом наплавлення методами зварювального виробництва. Після наплавних робіт зазвичай застосовують механічну обробку для приведення розмірів поверхонь до вимог креслення. Остаточні ж властивості робочим поверхням у разі потреби надаються методами термічної та хімікотермічної обробки. Ступінь зношування деталей визначається в рамках існуючої системи технічного обслуговування та ремонту автозчеплення: - при повному огляді (при планових видах ремонту вагонів); - при зовнішньому огляді (при поточних ремонтах); під час огляду під час технічного обслуговування (у поїздках та підготовці до навантаження).

Загальномережна річна потреба у ремонті вантажних вагонів (тис. одиниць) (таблиця 1.1) показує постійне її зростання та зростання матеріальних, енергетичних та фінансових витрат. Отже, пошук технологій підвищення зносостійкості, надійності та довговічності роботи корпусу автозчеплення є дуже актуальним напрямком.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 17   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

Таблиця 1.1 – Загальномережна річна потреба ремонту вантажних вагонів (тис. одиниць на рік)

| Рік  | Кількість вагонів | Кількість корпусів автозчеплень | Кількість корпусів автозчеплень, що відновлюються наплавкою |
|------|-------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 2008 | 250               | 350                             | 200                                                         |
| 2019 | 429               | 630                             | 350                                                         |
| 2024 | 448,7             | 660                             | 370                                                         |

Отже, більше половини корпусів автозчеплень, що ремонтуються, піддаються відновленню зношених поверхонь із застосуванням зварювальних технологій. При цьому  $\sim 2/3$  цієї кількості проходять відновлення зношених поверхонь контуру зачеплення головної частини корпусів.

Метод відновлення поверхні наплавленням є підготовчим етапом, після якого проводиться нанесення обмазки та обробка струмами високої частоти.

#### 1.3.1 Наплавлення зношених поверхонь для відновлення та зміцнення деталей, що зношуються

Наплавлення є дуже ефективним способом відновлення розмірів зношених деталей рухомого складу, що забезпечує подальшу їхню життєдіяльність. Крім цього, паралельно створюються умови підвищення на робочих поверхнях міцності, твердості, зносостійкості та інших спеціальних характеристик (рисунок 1.4). Все це зрештою має підвищувати надійність та довговічність експлуатації відновлених корпусів автозчеплень.



Рисунок 1.4 – Вид напавленої поверхні деталі

В даний час існує ряд способів наплавлення, до яких входять [4,6]:

- а) електродугове наплавлення покритими електродами, що плавляться, із застосуванням стандартних або високохромистих електродів;
- б) електродугове механізоване наплавлення в середовищі захисних газів із застосуванням зварювального дроту суцільного перерізу, або порошкового дроту;
- в) газополум'яне наплавлення з використанням дроту присадки, при розплавленні якого присадковий метал переноситься на поверхню основного металу;
- г) наплавлення із застосуванням струмів високої частоти, при якій використовується шихта як наплавний матеріал та індуктор;
- д) електрошлакове наплавлення, що застосовується з використанням зварювальних струмопровідних шлаків та присадного матеріалу (дротів суцільних, порошкових та наплавних стрічок);

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 19   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

е) плазмове наплавлення з використанням високотемпературного іонізованого газу та присадного матеріалу у вигляді дротів, стрічок та порошку.

Зважаючи на значну вагу корпусу автозчеплення та необхідність забезпечення високої якості наплавлених шарів, а також прийнятних умов роботи застосовують всілякі пристрої та маніпулятори (рисунок 1.5), які забезпечують будь-яке зручне просторове розташування деталі.

Для відновлення зношених поверхонь деталей рухомого складу найбільшого поширення набуле електродугове ручне, механізоване наплавлення та наплавлення із застосуванням струмів високої частоти. Ці способи відрізняються своєю простотою та можливістю наплавлення поверхонь будь-якої форми. Поширеність електродугової ручної та механізованої технології пояснюється і одночасною необхідністю у зварюванні тріщин.

Ремонт литих деталей вантажних вагонів здійснювався ручним дуговим наплавленням електродами типу Е42А, Е46 за ГОСТ 9466-75 (марки МР-3, УОНІ-13/45, ОЗС-12), напівавтоматичним наплавленням дротом суцільного перерізу марки Св-08Г2С а також порошковими дроти марок ГШ-Сп-10 за ГОСТ 26271-84 або ПП-Нп-14ГСТ за ГОСТ 26101-84. Однак ці зварювальні матеріали не забезпечували необхідних підвищених властивостей відновлених деталей, тому що наплавлений ними метал відноситься до того ж структурного класу (ферито-перлітного), що і основний метал деталей. Дріт марки ПП- Нп-14ГСТ (Тн-250), крім того, не забезпечує необхідного рівня ударної в'язкості наплавленого металу ( $12 \text{ Дж/см}^2$  при мінус  $60^\circ\text{C}$  при нормативному значенні для сталі 20ГЛ - не нижче  $24,5 \text{ Дж/см}^2$ ), що обумовлено підвищеним вмістом в 0,0 нітридів, що знижують холодостійкість металу [8]. Мікроструктура металу, наплавленого дротом ПП-Нп-14ГСТ на сталі 20ГЛ, переважно складається з великих зерен полігонального фериту (~50%) та дрібнодисперсної ферито-цементитної суміші.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 20   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

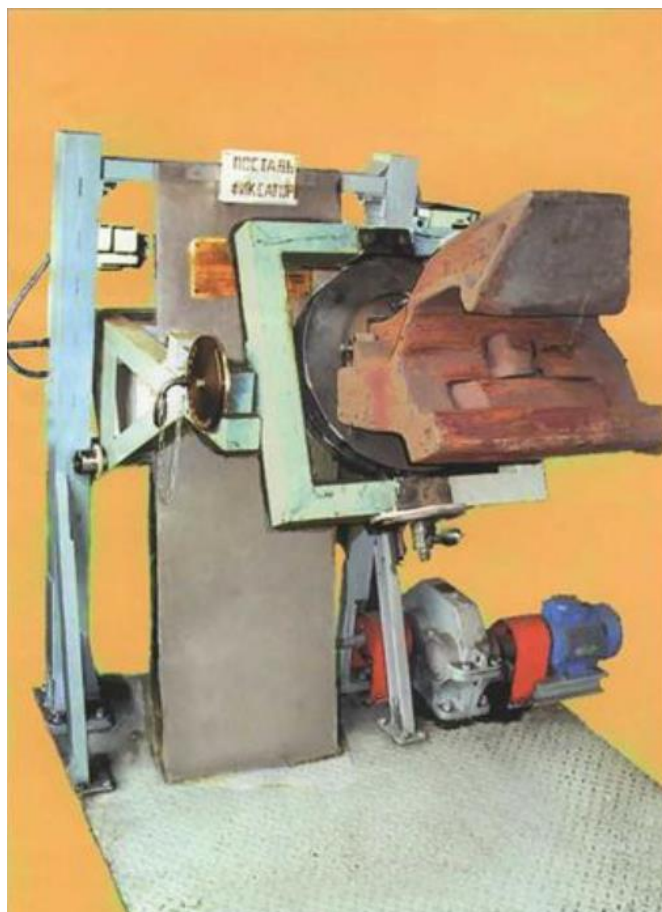


Рисунок 1.5 – Маніпулятор Т7.54.00.000 для просторового переміщення корпусу автозчеплення

Загальними недоліками електродугового наплавлення є:

- дендритна будова наплавленого металу, що має високу крихкість;
- видманштеттова крупнозерниста структура в зоні термічного впливу під наплавленим шаром, що має також високу крихкість;
- наявність в окремих зонах розтягуючих залишкових напруг у наплавленому металі; – утворення газових раковин та шлакових включень.

Дефекти наплавленого металу і структури підшару, що утворюються, знижують надійність і довговічність відновленої деталі. Як правило, довговічність відновленої деталі становить  $\sim 70\%$  від довговічності новозроблених деталей.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-220.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 21   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |



Частково ці недоліки можуть бути усунені за допомогою додаткової термічної обробки з нагріванням до температур вище температури перекристалізації при повному об'ємному нагріванні відновленої деталі. При цьому газові та шлакові включення залишаться у наплавленому металі. У той же час застосування поверхневого нагріву (наприклад, нагріву ТВЧ) не вирішить всіх проблем, а може створити умови утворення додаткових залишкових напруг внаслідок складної форми корпусу автозчеплення та його рознесення. У будь-якому випадку це додаткова обробка вимагатиме додаткового обладнання, матеріальних та тимчасових витрат, що значно збільшить тривалість простоїв та знизить рентабельність технології відновлення деталей рухомого складу.

В даний час наплавці піддають зношені тягові і ударні поверхні малого і великого зубів, зношені поверхні зівів головки корпусу автозчеплення за умови, що твердість нанесеного шару повинна бути не менше 250 НВ для вантажних вагонів і не менше 450 НВ - для рефрижераторних і пасажирських вагонів для забезпечення необхідної. Товщина допустимого зношування у цих випадках становить 3-8 мм [7].

Наприклад, одна з технологій наплавлення малого зуба корпусу автозчеплення включає наступні операції [9-11]:

- підготовчу операцію, яка полягає в очищенні поверхні від забруднень, продуктів корозії та видалення нерівностей металу, спричинених пластичною деформацією під навантаженням. Обробка проводиться до чистого металу (Rz 320);

- наплавну операцію для відновлення розмірів поверхні малого зуба із застосуванням сталевих дротів марки Св-12Х15Г2 діаметром 1,4 мм у захисному газі (аргон першого сорту). Отримувана твердість наплавленого шару (400-500 НВ) порівняно з твердістю основного металу (~ 207 НВ) забезпечує збільшення зносостійкості та ресурсу роботи деталі. Для наплавлення застосовувався напівавтомат з чотирма роликowymi механізмами подачі дроту ПДГО-527-4К у комплекті зі зварювальним випрямлячем ВДУ-

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 22   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |



505. Струм постійний зворотної полярності, що дорівнює 354 А, напруга дуги - 30-32 В. Витрата газу - 20-22 л/хв. Швидкість наплавлення 19 м/год. Товщина наплавленого шару визначалася ( $A_{сл}$ ) за формулою:

$$A_{сл} = \Delta u + Z_{пр} \quad (1.1)$$

де  $\Delta u$  – величина допустимого зносу, що дорівнює 8 мм;

$Z_{пр}$  – припуск на подальшу механічну обробку, що дорівнює 4 мм.

– контрольну операцію, яка полягає у видаленні шлаку та візуальної оцінки якості (пори, шлакові та газові включення, напливи, підрізи, нориці, пропали в наплавленому металі не допускаються);

– фрезерну операцію, яка забезпечує зняття припуску на механічну обробку та підготовку шорсткості поверхні та розмірів, що відповідають вимогам креслення.

Відмітними ознаками пропонованої технології є те, що робочі поверхні деталей автозчепного пристрою, що піддаються інтенсивному зносу, мають наплавлений шар, нанесений на попередньо занижені на величину товщини наплавлення поверхні, при цьому, твердість наплавленого шару становить HRC 41...51 (HB 400...50 [9], а шар, що наплавляється, має антикорозійні властивості [9,11].

Наплавлення проводиться на тягові поверхні контуру зачеплення та замикаючу поверхню замку в захисному середовищі аргону високолегованим зварювальним дротом марки Св-12Х15Г2 ферито-мартенситного класу із забезпеченням твердості наплавленого шару 400-500 HB. Випробування зміцнених деталей на експериментальному кільці показали, що величина зносу поверхонь контуру зачеплення нових автозчеплень, наплавлених дротом Св-12Х15Г2 нижче в 2,5 - 3 рази. Зношування замикаючої поверхні наплавленого замку нижче в 15 разів. Однак ця технологія має такі недоліки: висока твердість наплавленого металу вимагає застосування важкої ручної праці при обробці наплавлених поверхонь абразивним інструментом;

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 23   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

наплавлений дротом марки Св-12Х15Г2 у середовищі аргону шар, має систему легування С-Si-Mn-Cr при вмісті хрому до 10-12% залежно від частки участі основного металу, яка має недостатню холодостійкість. Ударна в'язкість зразків з U-подібним надрізом, вирізаних з наплавленого металу, при випробуванні ГОСТ 6996 при - 60°С склала всього 16 Дж/см<sup>2</sup>. Такі властивості наплавленого ферито-мартенситного металу не дозволяють застосувати дрід марки Св-12Х15Г2 для наплавлення ударних поверхонь корпусу автозчеплення [19].

Недоліком технології зносостійкого наплавлення є також те, що наплавлення проводиться по всій, попередньо заниженій на товщину шару, що наплавляється, робочій поверхні деталей, включаючи і їх кромки. У процесі експлуатації, у цих зонах, наприклад, на кромці робочої поверхні малого зуба корпусу автозчеплення, при проходженні кривих ділянок шляху виникають, від сил тяги, великі питомі тиску, під дією яких кромки через високу твердість наплавленого металу можуть пошкоджуватися (фарбуватися, сколюватися і т.п.). Це призводить до зміни контуру робочих поверхонь, порушення правильної взаємодії деталей, і в кінцевому результаті зниження ресурсу роботи, що викликає необхідність їх передчасного відновлення та додаткових витрат на ремонт [2-4].

Для виключення сколів у наплавленому металі по периметру поверхні, що наплавляється деталі на кромці попередньо виконується частково механізована дугове наплавлення в середовищі двоокису вуглецю менш легованим порошковим дротом з твердістю 250-300 НВ. Далі отримана обмежена поверхня заповнюється зносостійким наплавленням (рисунок 1.4) [12]. Пропонована технологія має явні переваги перед іншими, тому що робочі поверхні деталей автозчепного пристрою, наплавлені за один прохід дротом Св-12Х15Г2 (С = 0,09 - 0,14%, Сг = 14 - 16%, Мп = 1,6 - 2,4%, Si = 0,3 – 0,7% і мають високі антитфрикційні та антикорозійні властивості з твердістю наплавленого шару HRC 41...51 (НВ 400...500), а кромки наплавленої поверхні

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 24   |

мають високу пластичність (250 - 300 HB) і дозволяють уникнути утворення сколів.

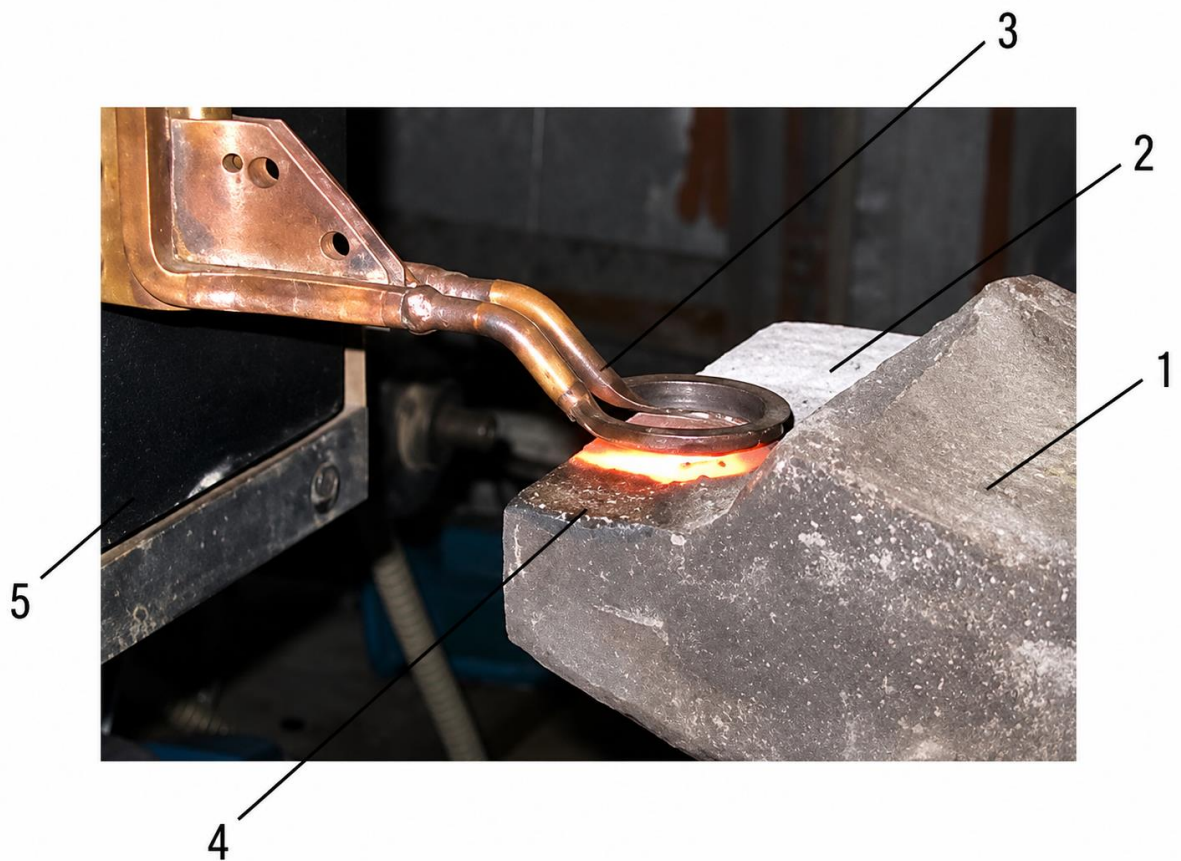
Незважаючи на підвищення зносостійкості та ресурсу роботи корпусу автозчеплення, у наплавленому шарі та в зоні термічного впливу залишаються дефекти, породжені зварювальною технологією, які можуть проявитися у будь-який момент, що в кінцевому підсумку знижує надійність експлуатації відремонтованого корпусу.

При індукційно-металургійному способі наплавлення на поверхню деталі попередньо рівним шаром насипають шихту, що складається з високолегованого порошку та флюсу (рисунок 1.6). При переміщенні індуктора вздовж поверхні деталі із шихтою відбувається нагрівання струмами високої частоти поверхні деталі до температури плавлення шихти. Шихта розплавляється та відбувається її з'єднання з металом основи з утворенням шару, товщиною від 0,2 до 2 мм. Флюс, що розплавився, спливає на поверхню розплавленого металу (сплаву), оберігаючи його поверхню від окислення. Твердість наплавленого металу щонайменше 450 HB (нормується 45 HRC) [13-17].

Недоліками даної технології є:

- утворення гарячих тріщин у наплавленому шарі;
- включення флюсу залишаються в наплавленому шарі, внаслідок порівняно швидкого охолодження розплаву і можуть відігравати роль концентраторів напруги в процесі експлуатації;
- необхідність встановлення строго горизонтального положення оброблюваної поверхні для отримання рівномірної товщини наплавленого шару;
- можлива втрата розплавленого металу в результаті стікання з поверхні, що обробляється особливо при великій товщині шару шихти (рисунок 1.7);
- складність обробки похилих та рельєфних поверхонь.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 25   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |



1 – виріб; 2 – шар шихти; 3 – петльовий індуктор; 4 – наплавлений метал;  
5 – високочастотний генератор

Рисунок 1.6 – Індукційно-металургійний спосіб наплавлення



Рисунок 1.7 – Індукційне наплавлення замку автозчеплення

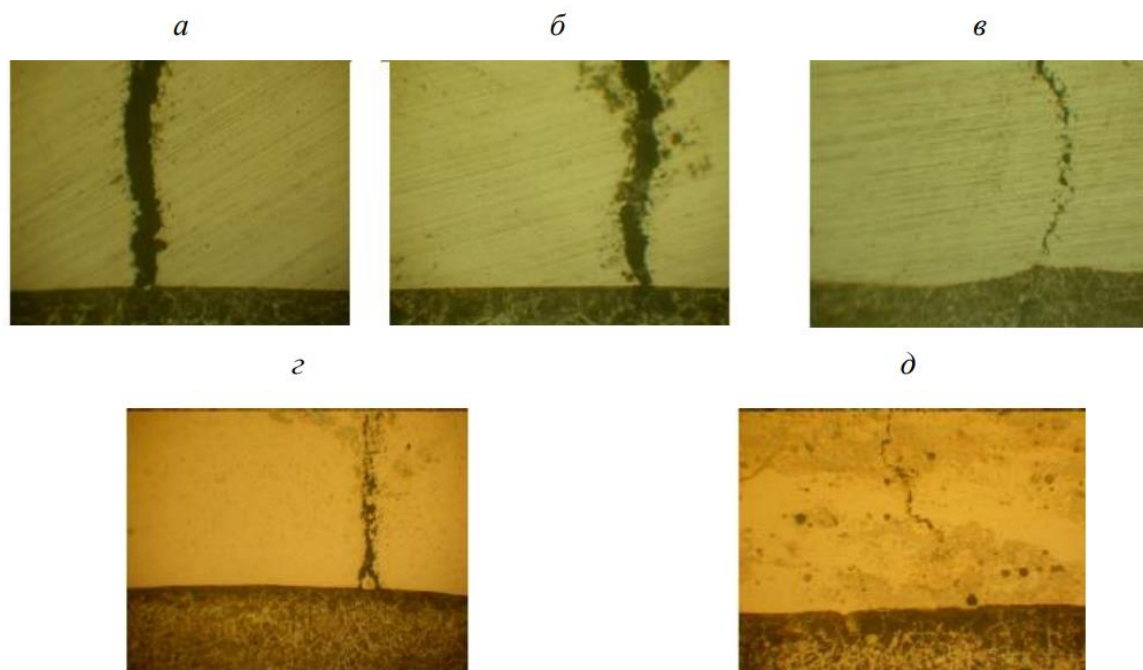
|     |       |          |        |      |
|-----|-------|----------|--------|------|
|     |       |          |        |      |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |

РДБ.3Т-220.02 ПЗ

Арк.

26

Більш глибокий аналіз технології індукційно-металургійного наплавлення, проведений авторами [18] показав, що причиною появи тріщин у наплавленому шарі є висока усадка металу при кристалізації, особливо білого чавуну. У той же час допустима наявність сітки гарячих тріщин, що не перевищує в сумі 20% від площі наплавленої поверхні, закладена в ГОСТі до експлуатації відновленої деталі [14], на нашу думку, є неправомірною. Так як під час експлуатації ці тріщини будуть розвиватися не вглиб в'язкої основи сталі (наприклад, 20ГЛ, 20ГФЛ та ін), а вздовж різкої межі розділу наплавлений метал - основа (рисунок 1.8).



а, б – під гарячою тріщиною видно зону розвитку корозійної каверни;  
в – спостерігається перехід поверхневої тріщини до металу основи;  
г, д – поворот тріщини до розвитку вздовж межі розділу  
наплавлений метал – основа.

Рисунок 1.8 – Фотографії наплавленого шару способом індукційно-металургійного наплавлення до експлуатації

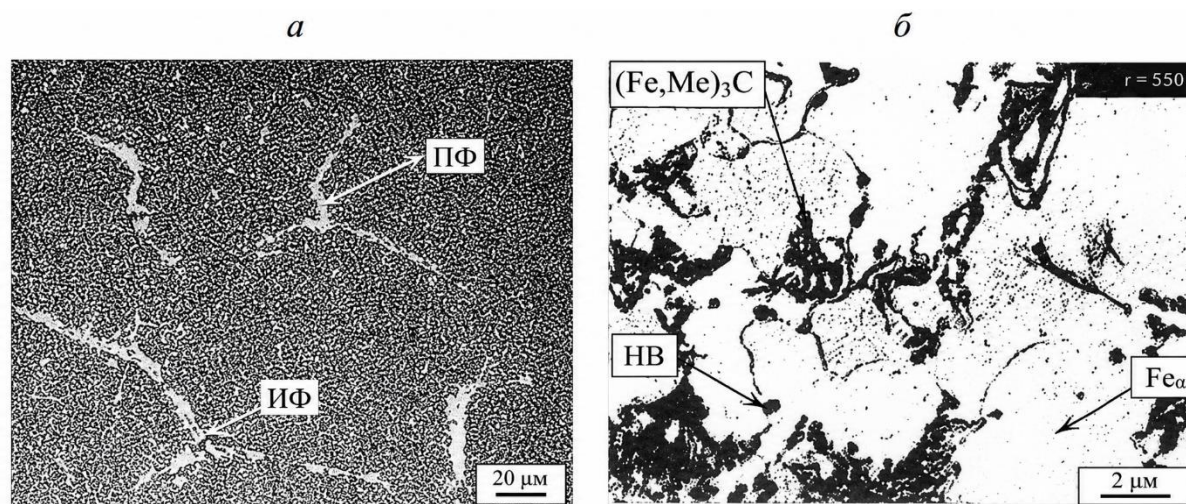
Внаслідок наявності великої кількості тріщин у вигляді сітки та їх подальшого розвитку відбуватиметься сколювання ділянок твердого

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 27   |



наплавленого шару та утворення абразивних частинок у зонах тертя. Це в кінцевому рахунку посилить процес зношування робочих поверхонь і призведе до виходу з ладу всіх деталей.

Одним із напрямів підвищення надійності деталей залізничної техніки є електродугове наплавлення комплексно легованими електродами, що містять С - Si - Mn - Cr - Ni - V - Ti в діапазоні вуглецевого еквівалента 0,48 - 0,55% [19]. Підвищення якості наплавленого шару та надійності експлуатації відновлених деталей забезпечується безперервним охолодженням під час наплавлення з певною швидкістю, що призводить до утворення голчастої структури фериту (рисунок 1.9).



ИФ – голчастий ферит; ПФ – полігональний ферит; НВ – неметалічні включення а – збільшення у 500 разів; б – збільшення у 10000 разів

Рисунок 1.9 – Мікроструктури комплексно легованих наплавлених шарів зі збільшенням

Дослідження зносостійкості показало, що структура голкового фериту в 2,7 рази перевищує зносостійкість звичайної ферито-перлітної структури сталі 20ГЛ. При цьому чим більше полігонального фериту у структурі, тим нижча відносна зносостійкість (рисунок 1.10).

Цей факт обмежує нижню межу легування значенням вуглецевого еквівалента, що дорівнює 0,48% [9].

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-220.02 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 28   |

Зазначені результати отримані при стендових випробуваннях, які не моделюють природні умови роботи корпусу автозчеплення, пов'язані з високими питомими тисками, ударними навантаженнями, низькими швидкостями переміщення поєднаних поверхонь та з великим інтервалом зміни середніх температур (від 60 до +100°C). За таких умов, на нашу думку, завжди зберігається металевий контакт взаємодіючих поверхонь і спостерігається явище схоплювання в окремих ділянках. Більше того, можливе також підвищення температури в мікрооб'ємах поверхонь тертя до 1000°C, що призведе до переведення структури голкового фериту до структури полігонального фериту та зниження зносостійкості та надійності експлуатації відновлених поверхонь корпусу автозчеплення.

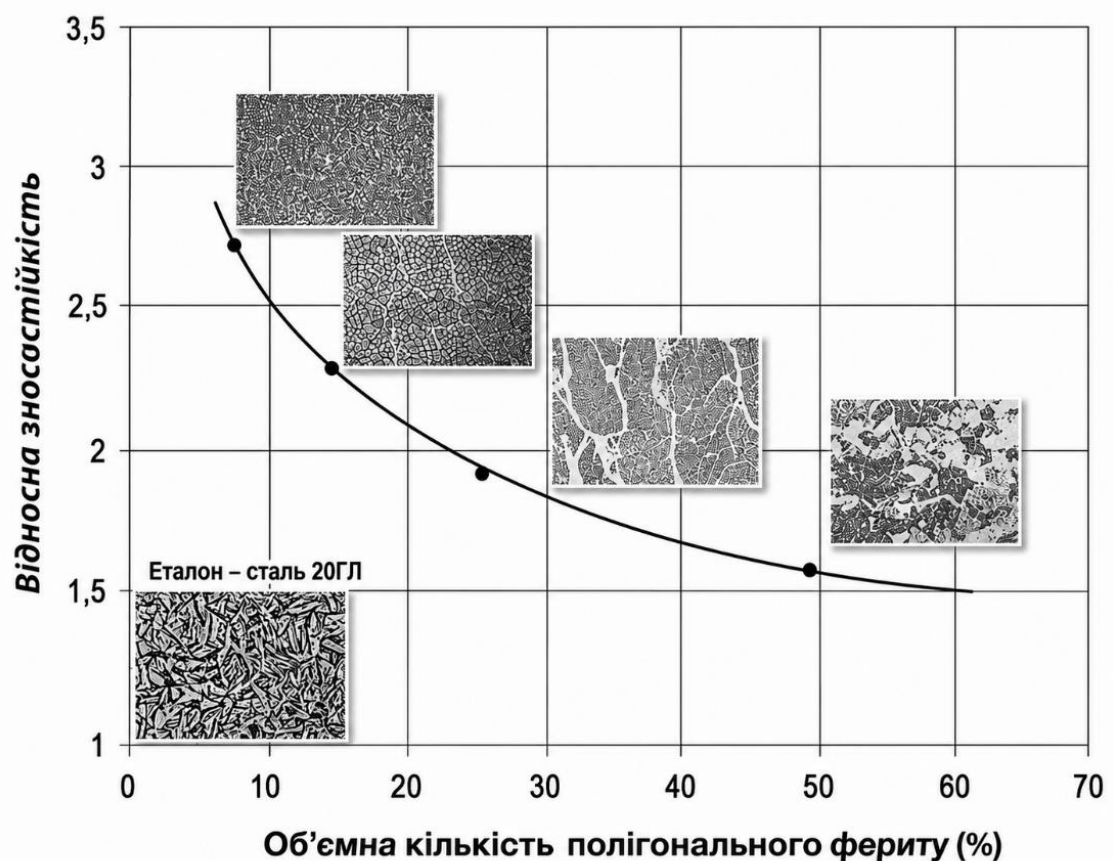


Рисунок 1.10 – Відносна зносостійкість наплавленого металу від кількості полігонального фериту

Слід зауважити, що процес наплавлення порошковим дротом при дуговому зварюванні пов'язаний з формуванням в зоні термічного впливу крихкої відманштетової структури в підшарі, яка зберігається в відновленій деталі. Більше того, при нанесенні сусідніх швів у процесі наплавлення структура голкового фериту також змінюється в результаті термічного впливу. Таким чином, внаслідок температурної нестійкості структури голчастого фериту, неоднорідності структури на наплавленій поверхні та наявності в підшарі крихкої відманштетової структури не може бути забезпечена висока надійність експлуатації відновлених наплавленням деталей автозчеплення.

Найменше поширення для нанесення зносостійких покриттів при відновленні деталей автозчеплення набули плазмово-порошкове наплавлення.

Плазмово-порошкове наплавлення полягає у застосуванні спеціальної головки, в якій до зони горіння плазмової дуги подається порошкова суміш (рисунок 1.11). Процес наплавлення відрізняється високою стабільністю наплавленого валика, що формується, проте вимагає вміст цеху в чистому стані і наявності фахівців високої кваліфікації для обслуговування установки. Як наплавний матеріал рекомендується суміш, що забезпечує твердість наплавленого шару 450 HB (45 HRC) [13].

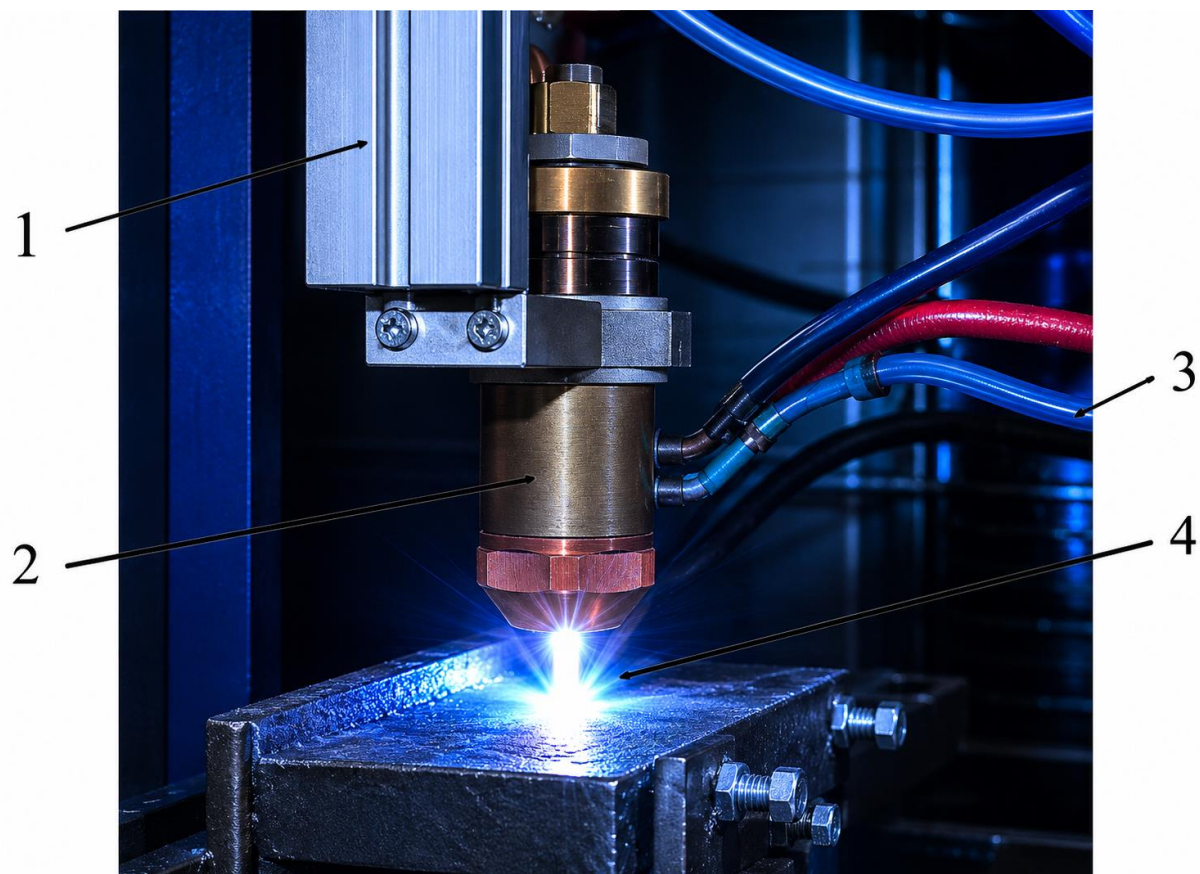
Газопорошкове наплавлення полягає в попередньому нагріванні поверхні, що наплавляється до 300-400°C, розпилення на поверхню шару порошкового сплаву і оплавлення його. Підігрів, напилення порошку та оплавлення виконується газозварником за допомогою спеціального пальника (схожа на пальник для різання, тільки приєднаний бункер із порошковою сумішшю) (рисунок 1.12) [8].

До пальника підключають кисень і горючий газ – пропан (ГПНП – газопорошкове наплавлення на пропані) або ацетилен (ДПНА – газопорошкове наплавлення на ацетилені).

Як присадковий матеріал використовується порошкова суміш на нікелевій основі з карбідами вольфраму і хрому.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 30   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |





1 – супорт вертикальних переміщень головки; 2 – плазмотрон для плазово-порошкового наплавлення; 3 – плазова дуга; 4 – наплавлений шар.

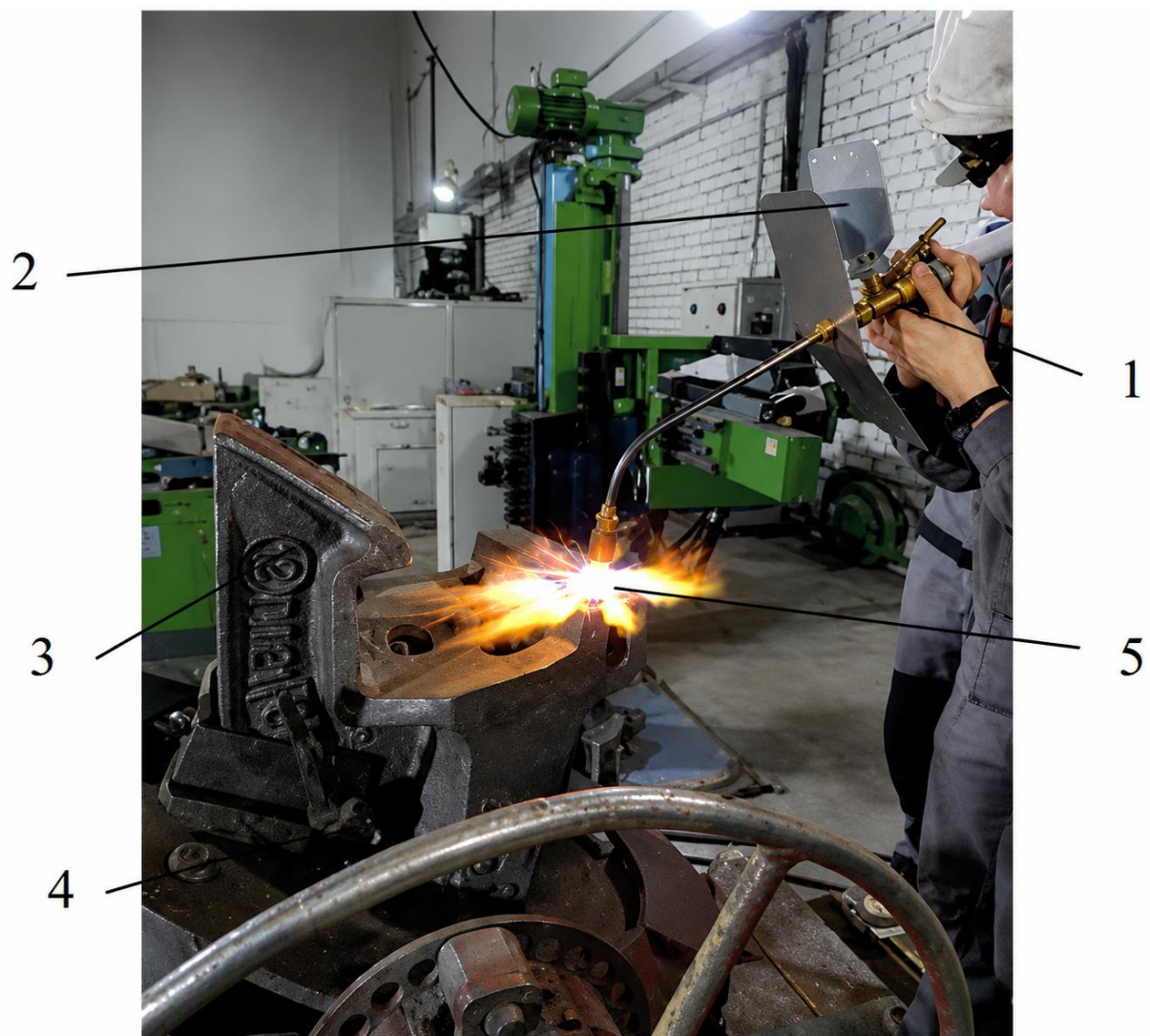
Рисунок 1.11 – Встановлення плазово-порошкового наплавлення

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

РДБ.3Т-220.02 ПЗ

Арк.

31



1 – пальник ГН – 5П; 2 – бункер із порошковою сумішшю; 3 – корпус автозчеплення; 4 – маніпулятор автозчеплення; 5 – пропано-кисневе полум'я

Рисунок 1.12 – Газопорошкове наплавлення корпусу автозчеплення

Для зміцнення відповідальних деталей корпусу автозчеплення та деталей механізму зчеплення ця технологія мало прийнятна, оскільки погано регулюється якість наплавленого шару та відтворюваність результатів обробки.

Литі деталі залізничної техніки, наприклад, буферні тарелі, рекомендується наплавляти із застосуванням антипригарної суміші, що містить (% за масою): 70%(50%  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  + 50%  $\text{CaSi}_2$ ) + 30% меленого флюсу АН-348А (44%  $\text{SiO}_2$ ; 38;  $\text{MgO}$ ; 4,5%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; 5%  $\text{CaF}_2$ ).

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

РДБ.3Т-220.02 ПЗ

Арк.

32

Поверх шару суміші, товщиною 0,5 – 1 мм, наносять шар типової наплавної шихти. Далі проводять нагрівання ТВЧ. Кріоліт ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) і силіцид кальцію ( $\text{CaSi}_2$ ) після розплавлення очищають поверхню вилівка від  $\text{SiO}_2$  і від силікатів заліза шляхом їх відновлення, підвищуючи тим самим зв'язок наплавленого металу з металом основи та якість наплавленого шару [20].

### 1.3.2 Процеси термічної обробки для підвищення зносостійкості та надійності відновлених наплавленням поверхонь корпусу автозчеплення.

Підвищення надійності експлуатації відновлених поверхонь корпусу автозчеплення може бути забезпечене поверхневим загартуванням з нагріванням ТВЧ нової деталі або відновленням шляхом наплавлення. Як правило, спосіб термозміцнення включає індукційне нагрівання автозчеплення і подальше її охолодження. Зокрема, рекомендується індукційне нагрівання проводити в зоні робочої поверхні деталі автозчеплення, виключаючи її крайку. Для побудови траєкторії руху робочу поверхню деталі заздалегідь сканують. Для керування переміщенням індуктора над робочою поверхнею деталі застосовують автоматичне керування. Нагріту поверхню охолоджують, подаючи воду через отвори у корпусі індуктора [11].

Обробці піддають тягові поверхні великого та малого зубів, робочі поверхні цих зубів. Для здійснення запропонованого способу індуктор розміщують над тяговою поверхнею великого зуба або над тяговою поверхнею малого зуба корпусу автозчеплення і індуктор приводять в дію. Індуктор здійснює переміщення з постійною швидкістю в напрямку трьох координат, що задається системою автоматичного управління, з дотриманням постійної відстані над робочою поверхнею, повторюючи індивідуальну геометрію робочої поверхні деталі, включаючи криволінійні ділянки.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 33   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

Для охолодження зони нагріву в процесі переміщення індуктора на нагріту поверхню подають воду з отворів, виконаних у нижній частині індуктора. При цьому отвори можуть бути виконані під кутом до нижньої частини індуктора таким чином, щоб забезпечувати напрямок похилу подачі води на нагріту поверхню металу, що збігається з напрямком переміщення індуктора.

Твердість поверхневого шару, одержувана в результаті загартування, знаходиться в діапазоні від 40,5 до 50,0 HRC. Цей діапазон твердості забезпечується отриманням мартенситу з вмістом вуглецю 0,17 - 0,25%. Після проведення поверхневого загартування ТВЧ проводять низьку відпустку при температурі 180 – 250°C для зняття залишкової напруги. Особливості кожної окремої робочої поверхні, внаслідок наявності досить великих величин допусків на розміри, враховується за допомогою системи автоматичного керування та попереднього сканування кожної поверхні перед індукційним нагріванням для побудови траєкторії руху індуктора.

Діапазон температур індукційного нагріву на глибині  $h=3$  мм становить 880 – 910°C та обумовлений забезпеченням гомогенного аустеніту. Температура індукційного нагрівання поверхні деталі становить від 910°C до 1150 °C. Верхнє значення температури 1150°C обумовлено необхідністю попередження надмірного зростання аустенітного зерна – понад середній умовний діаметр 55 мкм (відповідає номеру 5 за ГОСТ 5639). Швидкість переміщення індуктора становить 1,5 – 3 мм/с. Відстань між індуктором та робочою поверхнею деталі становить від 1 до 3 мм. Дані інтервали необхідні забезпечення заданих температур індукційного нагрівання поверхні деталі на глибину трохи більше 3 мм.

До складу обладнання для реалізації пропонованого способу входять електромеханічна частина, що включає в себе індуктор ТВЧ, пристрій сканування, система автоматичного управління положенням і рухом індуктора, генератор струму високої частоти. Як індуктор використовують, зокрема, мідну трубку, що має квадратний переріз, з феритовим

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 34   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

магнітопроводом. У корпусі мідної трубки виконані наскрізні отвори виконання індуктором функції охолоджуючого пристрою [14].

Послідовність пропонованих етапів забезпечує збільшення стійкості робочої поверхні деталі автозчеплення до зношування, підвищення довговічності, надійності та збільшення міжремонтного терміну служби автозчеплення.

До недоліків загартованої структури робочих поверхонь головки корпусу автозчеплення слід віднести її нестабільність до перепадів температур. При негативних температурах ( $-60^{\circ}\text{C}$ ) спостерігається підвищення крихкості, а при підвищених температурах окремих мікрооб'ємах поверхні ( $> 300^{\circ}\text{C}$ ) – зниження твердості. Зрештою це різко знижує зносостійкість, надійність експлуатації корпусу автозчеплення [19].

Є велика кількість досліджень, спрямованих на підвищення надійності, довговічності та зносостійкості корпусу автозчеплення шляхом гарту з нагріванням ТВЧ робочих поверхонь хвостової частини автозчеплення при охолодженні потоком води при високому тиску.

Зокрема, загартування за допомогою індукційного нагрівання з подальшим охолодженням водою піддають частково хвостову частину корпусу автозчеплення, що включає зовнішню верхню поверхню, що взаємодіє з тяговим хомутом, циліндричну торцеву поверхню і внутрішню поверхню отвору під клин тягового хомута. При цьому загартування проводиться безперервно-послідовним методом за допомогою індуктора-спрейера, що рухається зі швидкістю від 1,5 до 5 мм/с, причому на етапі загартування підтримують постійними силу струму від 2,5 до 3,5 кА, потужність струму від 35 до 6 мм, частоту струму від 5 до 0 мм кожною згаданою вище поверхнею та індуктором-спрейером. Етап охолодження здійснюють водою температурою від 15 до  $30^{\circ}\text{C}$  через отвори в індукторі-спрейері при витраті води від 15 до 50 л/хв, а після етапу загартування проводять етап низькотемпературного відпуску корпусу автозчеплення при температурі від 200 до  $300^{\circ}\text{C}$  протягом 3-5. Додатково загартування можуть

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 35   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

частково піддавати зовнішню нижню поверхню. У корпусу автозчеплення, зміцненого зазначеним способом, довжина загартованої ділянки зовнішньої верхньої поверхні, виміряна від кінця хвостовика, становить не менше 200 мм, глибина загартованих ділянок становить не менше 3 мм і твердість загартованих ділянок становить не менше 320 НВ [12].

Для підвищення зносостійкості хвостовика автозчеплення також запропонований спосіб термічної обробки литих деталей з маловуглецевої і низьколегованої сталі, що включає наскрізний нагрівання деталі до температури загартування та охолодження, який відрізняється тим, що охолодження ведуть шляхом введення деталі в рухомий S 3,0 що знаходиться під надлишковим тиском 0,1 - 0,2 МПа (де S - товщина деталі в несучих перерізах, мм.) [13]. Дані умови охолодження дозволяють максимально реалізувати можливості сталі, забезпечуючи зміцнення поверхні на твердість 40 - 47 HRC. Зносостійкість деталей збільшується більш ніж у 1,5 рази, межа витривалості зростає мінімум на 15%.

Одним з рішень підвищення надійності роботи корпусу автозчеплення є спосіб відновлення корпусу автозчеплення залізничного складу, який включає наплавлення зношених поверхонь, індукційне нагрівання хвостовика корпусу автозчеплення при температурі 890-940°C протягом 5-30 хвилин і охолодження корпусу автозчеплення потоком води, 0,4-2,5 хвилин [4-6].

Здійснення індукційного нагріву за даною технологією тільки хвостової частини (хвостовика) корпусу автозчеплення при температурі 890-940 °C протягом 5 - 30 хвилин і подальше охолодження потоком води, що циркулює по замкнутому контуру, протягом 0,4 - 2,5 хвилин дозволяє підвищити твердість матеріалу НВ, що відповідає нормативним вимогам, а також підвищити циклічну довговічність у 1,4 рази порівняно з відомими способами термічної обробки [14].

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 36   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

Вибір інтервалу температури (890-940°C) індукційного нагріву хвостовика корпусу автозчеплення обумовлений тим, що при температурі нижче 890°C у вихідній структурі сталевго матеріалу залишаються ділянки фериту, що залишився за рахунок недогріву, що призведе до зниження твердості після термічної обробки нижче нормативних вимог. При індукційному нагріванні понад 940 ° С відбувається зростання зерна аустеніту та погіршення характеристик пластичності. Час індукційного нагріву становить 5 – 30 хвилин і залежить від потужності установки. При індукційному нагріванні менше 5 хв автозчеплення не досягає необхідної температури 890 ° С, а при нагріванні більше 30 хв відбувається зростання зерна аустеніту [12].

Охолодження корпусу автозчеплення здійснюють потоком води, що циркулює по замкнутому контуру протягом 0,4-2,5 хвилин. При охолодженні потоком води менше 0,4 хв відбувається відпуск поверхневого зміцненого шару металу за рахунок тепла глибинних шарів і знижується його твердість, при охолодженні понад 2,5 хв метал набуває підвищеної твердості, що в процесі подальшої експлуатації автозчеплення може призвести до утворення тріщин у хвостовику автозчеплення. Устаткування для реалізації даного способу термічної обробки деталей автозчеплення може складатися з індуктора для нагрівання хвостовика автозчеплення, джерела живлення, гартувального бака, гартувального пристрою, блоку узгоджувальних трансформаторів, насоса [15].

1.3.3 Методи хіміко-термічної обробки, що використовуються та рекомендуються для підвищення зносостійкості та надійності відновлених наплавкою поверхонь корпусу автозчеплення.

Розглянуті раніше процеси відновлення та зміцнення поверхонь головки корпусу автозчеплення та деталей механізму зчеплення мають ряд недоліків, які негативно позначаються на надійності та довговічності їх експлуатації. В

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 37   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |



одних випадках це дендритна і відманштеттова структури наплавленого шару і підшару (основного металу), відповідно, газові та шлакові включення та залишкові напруги, що розтягують. В інших – температурна нестабільність гартових структур.

Є рекомендації щодо зміцнення низки деталей рухомого складу методами хіміко-термічної обробки. Зокрема процес газобаричного азотування рекомендується використовувати для зміцнення деталей механізму зчеплення. Процес проводиться в закритих контейнерах з його ізоляцією від проникнення повітря атмосфери при 550-590°C протягом 3 годин. При цьому деталь повністю розміщується у контейнері, що для зміцнення відновленого корпусу автозчеплення не зовсім підходить за громіздкістю необхідного обладнання.

У той же час позитивною стороною цього процесу є утворення стискаючих напруг на всій поверхні деталі, які підвищують опір утворенню тріщин і, отже, підвищують міцність втоми. До негативних факторів слід віднести порівняно невелику товщину азотованого шару (до 1 мм), плавне зниження твердості по товщині шару до твердості серцевини, неможливість усунення газових та шлакових включень, а також виправлення структурних недосконалостей (дендритної та відманштеттової структур) у наплавленому шарі.

Процеси місцевого азотування великогабаритних деталей з допомогою паст нині залишаються лише на рівні лабораторних досліджень.

Відновлені наплавленням деталі рекомендується зміцнювати також шляхом застосування нітроцементациї з паст та електролізного борування [47]. Зокрема, розроблено склад нітроцементуючої пасти на основі сажі з додаванням жовтої кров'яної солі (15-25%), аміачної селітри (1-15%) та вуглекислого натрію для зміцнення наплавлених шарів сталей у широкому діапазоні температур (від 450 до 900°C).

Дослідження впливу режимів нітроцементациї на структуру дифузійних шарів дозволило визначити оптимальні параметри процесу, що дозволяють

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 38   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |



отримувати в структурі максимальну кількість - карбонітриду при температурі 650-680°C. Переваги та недоліки подібних шарів повністю збігаються з раніше викладеними характеристиками азотованих шарів. Тобто процес нітроцементзації з паст для зміцнення поверхонь контуру зачеплення корпусу автозчеплення мало прийнятний.

В інтервалі температур 850-880°C при нітроцементзації у шарах утворюється карбонітридцементитного типу  $Fe_3(C, N)$  та твердий розчин азоту та вуглецю в залозі. Для отримання необхідної твердості потрібно проведення наступного загартування з температури 860°C та низької або середньої відпустки. До недоліків нітроцементованих шарів слід віднести недостатню товщину (~ 1,5 мм), чутливість загартованої структури до нагрівання, яка пов'язується зі зниженням твердості, підвищену крихкість при негативних температурах (-60°C) та збереження у наплавленому шарі шлакових та газових раковин. У той же час такі шари можуть забезпечити деяке підвищення зносостійкості та довговічності за малих величин допустимого зношування (~ 1,5 - 2 мм).

Що ж до проведення загартування після нітроцементзації з обмазування поверхонь контуру зачеплення корпусу автозчеплення, то тут виникають технологічні перешкоди. Безпосереднє загартування після нітроцементзації утруднене наявністю самої обмазки, що суттєво знижує швидкість охолодження та твердість, а повторне навіть швидке нагрівання ТВЧ без захисту пов'язується зі зміною хімічного складу поверхні та частковим розчиненням карбонітридацементитного типу. Застосування захисту від окислення і вигорання вуглецю і азоту значно ускладнюють технологічний процес ремонту. Отже, нітроцементация з обмазок з нагріванням ТВЧ для зміцнення наплавлених поверхонь корпусів автозчеплень мало прийнятною.

Електролізне рідинне борування, що рекомендується авторами [17], для зміцнення відновлених наплавкою поверхонь зачеплення корпусів автозчеплень також є мало прийнятним для зміцнення за технологією проведення процесу і за властивостями одержуваних шарів.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 39   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

З інших способів борування слід виділити процеси, що забезпечують місцеве зміцнення з обмазок з нагріванням ТВЧ, які надають поверхням підвищену зносостійкість, твердість в інтервалі 300-1500 кгс/мм<sup>2</sup>, дозволяють отримувати композиційні шари зі стабільною структурою в широкому інтервалі. механічного та термічного впливу та великої товщини, сприяють зниженню коефіцієнта тертя. Боровані шари з композиційною структурою також мають високий запас пластичності, що повністю виключає їх крихке руйнування і забезпечить надійність і довговічність експлуатації відновленим наплавленням поверхонь контуру зачеплення корпусів автозчеплень.

Таким чином, удосконалення технології ремонту поверхонь контуру зачеплення корпусів автозчеплень полягає у застосуванні процесу борування для зміцнення після відновлення їх розмірів.

#### 1.4 Особливості процесу борування та його застосування для зміцнення деталей рухомого складу

Аналіз різних методів зміцнення: цементації, азотування, нітроцементації, хромування, борування, силікування та ін, показав, що для зміцнення робочих поверхонь головки корпусу автозчеплення та деталей механізму зчеплення найбільш прийнятним є процес борування з обмазок з використанням нагрівання ТВЧ.

##### 1.4.1 Класифікація процесу борування

Відповідно до вимог часу при розробці процесів борування проводилася їх класифікація за структурою одержуваних шарів, технології проведення, що перепліталися з механізмом утворення атомів, що насичують, що не дозволяло розкрити всіх взаємозв'язків. Ці роботи виконували свою роль узагальнення результатів, допомагали краще розуміти сам процес обробки та знаходити шляхи його застосування. Сучасний розвиток процесу борування

|     |       |          |        |      |                         |      |
|-----|-------|----------|--------|------|-------------------------|------|
|     |       |          |        |      | <i>РДБ.3Т-22д.02 ПЗ</i> | Арк. |
|     |       |          |        |      |                         | 40   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                         |      |

представлений у вигляді класифікаційної схеми, запропонованої у роботах [7,9] (рисунок 1.13).

Наведена класифікаційна схема вводить нові трактування та розробки, що дозволяє намітити шляхи інтенсифікації різних технологічних варіантів та визначити сфери їх застосування.

Аналіз вихідних насичувальних середовищ показав присутність бору у двох станах: іонному та атомарному. При цьому саме середовище може перебувати у всіх чотирьох станах речовин у природі (газовому, твердому, рідкому та плазмовому).

Існуюча класифікаційна схема розглядає процес за чотирма напрямками [10]:

- механізму утворення насичувальних атомів бору;
- технологічним ознакам, що включає всі відомі розробки;
- фазового складу та структури;
- температурі проведення процесу та призначення.

Класифікацією засобів утворення субіонів та їх транспортування до оброблюваної поверхні закінчується класифікація за механізмом утворення насичувальних атомів.

При класифікації за технологічними принципами агрегатний стан насичувального середовища передбачає певні технологічні прийоми та визначає кількість методів борування. Кожному методу відповідають певні способи проведення процесу від насичувальних середовищ. Класифікація за структурою поділяє боровані шари на чотири типи: двофазні ( $\text{FeB} + \text{Fe}_2\text{B}$ ), однофазні ( $\text{Fe}_2\text{B}$ ), багатофазні композиційні (евтектичні та псевдоевтектичні) та шари на основі  $\alpha$  - твердого розчину  $\text{Fe(B)}$ ; і розглядає взаємозв'язок фазового складу та структури шару з його компактністю, видом перехідної межі та мікротвердістю [8-11]. Боровані шари на основі боридів можуть бути компактними та некомпактними. У другому випадку боридні голки роз'єднані  $\alpha$  - твердим розчином  $\text{Fe(B)}$ . Граничне подрібнення фаз призводить до одержання композиційних евтектичних та псевдоевтектичних структур [10].

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 41   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

Технологія отримання різних за властивостями та цільовим призначенням борованих шарів поділена на високотемпературне (ВТБ), середньотемпературне (СТБ) та низькотемпературне (СТБ) насичення.

#### 1.4.2 Механізм утворення борованих шарів

Концентрація бору на поверхні визначає фазовий склад дифузійного шару відповідно до діаграми стану. При борованні заліза в середовищі, що забезпечує концентрацію бору на поверхні, що обробляється менше 8,34% по масі, утворюються шари на основі  $\text{Fe}_2\text{B}$  +  $\alpha$  твердого розчину. При концентраціях бору від 8,34 до 16,25% - шари на основі  $\text{FeB}$  +  $\text{Fe}_2\text{B}$  + підшар. Шари на основі  $\alpha$  - твердого розчину можуть бути утворені на залозі при концентраціях  $< 0,02\%$  по масі.

Кожна з одержуваних структур має свої переваги в певних умовах експлуатації і може забезпечити значний ефект. Двофазні шари з мікротвердістю до 2200 HV ( $\text{FeB}$  +  $\text{Fe}_2\text{B}$ ) мають переваги при абразивному зношуванні без ударних навантажень, однофазні шари з мікротвердістю до 1700 HV забезпечують максимальну зносостійкість при наявності ударних навантажень і циклічному навантаженні. Шари на основі  $\alpha$  - твердого розчину бору в залізі на середньовуглецевих сталях після загартування сприяють підвищенню прожарюваності, міцності, зносостійкості за рахунок виділення боридів по межах зерен і можуть забезпечити високу працездатність широкого кола деталей, що працюють в умовах мастильного матеріалу.

У той же час максимальний ефект забезпечують борідними шарами з певним запасом пластичності та шарами з композиційною структурою. Зародження та зростання боридів та формування композиційної структури борованого шару може відбуватися у твердому, рідкокристалічному та рідкому станах оброблюваної поверхні.

Як правило, розглядають два механізми формування борованих шарів: дифузійний та дифузійно-кристалізаційний.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 42   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

Утворення боридів за дифузійним механізмом відбувається в твердому агрегатному стані підкладки як з первинним утворенням неоднорідного твердого розчину бору в залозі, так і за закономірностями реактивної дифузії [18], характерною особливістю якої є стрибкоподібна зміна концентрації бору за товщиною дифузійного шару. При недостатній концентрації бору для утворення боридів відбувається утворення тільки  $\alpha$  - твердого розчину бору в залізі.

Беручи до уваги, що в початковий період насичення фазовий склад шару та граничні концентрації фаз відрізняються від рівноважних і, враховуючи нерівномірність розподілу бору в металах і сплавах [19], слід припустити високу ймовірність первинного утворення нерівномірного концентрації твердого розчину. При цьому бор концентрується за межами зерен та блоків, у місцях виходу на поверхню дислокацій, на дефектах упаковки, у місцях скупчення точкових дефектів тощо. У зазначених ділянках завдяки горофільності бору швидше досягається як гранична розчинність його в залозі, так і концентрація, достатня для утворення бориду  $\text{Fe}_2\text{B}$ .

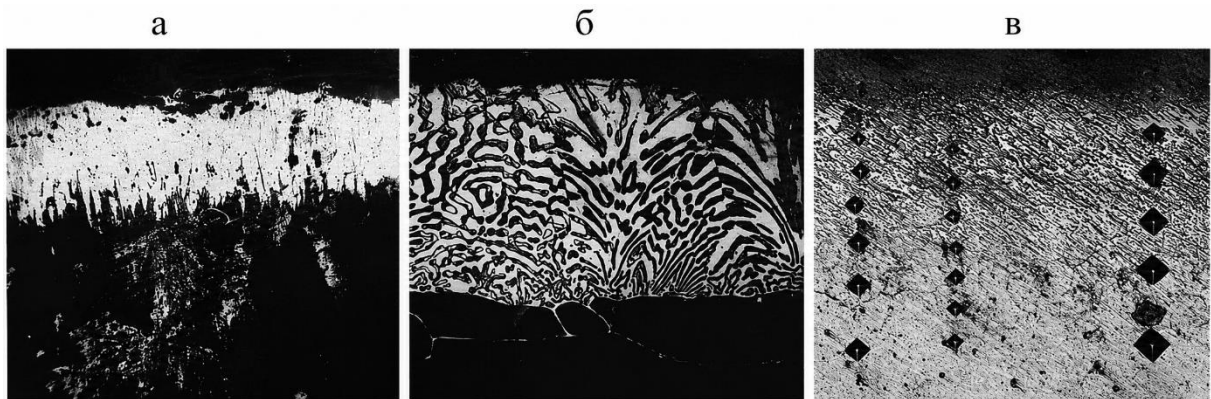
Формування шару за дифузійним механізмом супроводжується зустрічною по відношенню до бору дифузією атомів заліза, які при виході на поверхню беруть участь у боридоутворенні. Це спричиняє приріст розмірів деталей на 10-15 % від товщини шару боридів [19]. Дифузійно-кристалізаційний механізм має місце при проведенні насичення в рідко-твердому або рідкому станах поверхні, що обробляється. В обох випадках процес супроводжується частковим розплавленням оброблюваної поверхні, дифузією бору та легуючих елементів у металі основи, а також кристалізацією рідкого розчину, які протікають як при ізотермічній витримці, так і при нагріванні та охолодженні. Наявність рідкої фази значно збільшує дифузійну рухливість атомів, що забезпечує формування великих за товщиною борованих шарів з гетерогенною структурою, що забезпечує підвищену пластичність [18].

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 43   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

При дифузійно-кристалізаційному механізмі формування борированного шару необхідно створення умов утворення рідкотвердого стану оброблюваної поверхні при співвідношенні рідкої та кристалічної фаз, що забезпечують збереження форми деталі та шорсткості поверхонь деталі. Відповідно до загальних положень кількість рідкої фази не повинна перевищувати 30%. Твердою фазою в даному випадку можуть бути або не розплавився ділянки матричного твердого розчину, або бориди, що кристалізуються, утворюють твердий каркас. Температурні та концентраційні умови існування цієї рівноваги визначаються за багатоконпонентними діаграмами стану сплавів [19].

Дифузійно-кристалізаційний механізм має місце також при утворенні рідко-твердого стану в підшарі боридів за рахунок відтіснення або перерозподілу елементів сплаву. І в цьому випадку вміст рідкої фази доцільно забезпечувати на тому ж рівні (<30%).

Структура борованого шару, що утворюється, являє собою окремі включення боридів різної дисперсності, розподілені в порівняно м'якому твердому розчині. Така структура певною мірою забезпечує при зношуванні виконання «принципу Шарпі» і дуже сприятливою для вузлів тертя. Більш того, регулюючи співвідношенням фаз, їх дисперсністю, формою та взаємним розташуванням, можна змінювати властивості борованого шару в широких межах. Усе це створює передумови розширення областей застосування процесу борування. Такі структури, що утворюються, названі псевдоевтектичними на відміну від евтектичних структур, одержуваних при повному плавленні шару (рисунок 1.13) або при плавленні композиційних електролітичних покриттів [2, 3].



а – сталь 45, 950°C, 4 ч, електролізне насичення при  $j=0,15 \text{ A/cm}^2$  x320;

в – евтектичний шар, x100 (насичення з обмазки з нагріванням ТВЧ);

б – псевдоевтектичний борований шар, x100, сплав ВНС-45, 1050°C, 1,5 ч, порошкова насичуюча суміш, що містить В4С

Рисунок 1.13 – Мікроструктури борованих шарів, отримані при дифузійному та дифузійно-кристалізаційному механізмах утворення [19, 20]

Таким чином, при боруванні з нагріванням ТВЧ створюється можливість широкого варіювання температурою процесу та отримання шарів з різною структурою та властивостями, які забезпечать поряд з підвищенням зносостійкості та підвищення надійності та довговічності експлуатації поверхонь зачеплення корпусу автозчеплення.

#### 1.4.3 Застосування борування на залізничному транспорті та інших галузях промисловості для зміцнення деталей

Сполучним вузлом локомотива та вагонів є автозчепний пристрій. Надійність та працездатність його деталей загалом забезпечує безпеку руху та багато в чому визначає міжремонтний пробіг вантажних та пасажирських вагонів. Отже підвищення пробігу вагонів до 500 тис. км. і більше за критерієм зносостійкості та надійності деталей автозчеплення є актуальним науково-технічним завданням.

У ряді випадків підвищення зносостійкості деяких деталей рухомого складу вирішували шляхом застосування борування.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-220.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 45   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

Зокрема, наличники букс локомотивів, виготовлених із сталі 65, рекомендували зміцнювати електролізним боруванням у розплаві бури (90%  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) та повареної солі (10% за масою  $\text{NaCl}$ ) [18]. Процес проводили при  $950^\circ\text{C}$  при щільності струму  $0,1 - 0,25 \text{ A/cm}^2$  протягом 2 год, після чого лиштви витримували в розплаві ще 2 години для дифузійного відпалу при вимкненому струмі. У процесі обробки передбачався катодний захист металевого тигля за щільності струму  $0,01 - 0,02 \text{ A/cm}^2$ . Після закінчення процесу борування та відпалу лиштви охолоджували в маслі та очищали від залишків розплаву. Остаточною операцією обробки був високий відпуск при  $550^\circ\text{C}$  протягом 1,5 год і рихтування. Товщина борованого шару має відповідати  $0,2 - 0,25 \text{ мм}$ .

У роботі [17] було запропоновано технологію борування з порошкових сумішей, що містять карбід бору ( $\text{B}_4\text{C}$ ), інертну складову – окис алюмінію ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) та активатор процесу – фтористий натрій ( $\text{NaF}$ ). Борування проводили в контейнерах з плавким затвором, а також в камерній печі без захисту від окислення, при якому лиштви укладалася в стопку. Насичувальна суміш розміщувалася між парами лиштви. Насичення проводили при  $950^\circ\text{C}$  протягом 6 год. Після витримки лиштви охолоджували в маслі, а після відмивання піддавали середньому відпустку та рихтуванню. Натурні випробування борованих лиштв показали підвищену зносостійкість, здатну забезпечити працездатність вузла до чергового ремонту.

Однією з розробок з борування деталей рухомого складу є рекомендація зміцнення залізничних коліс [12], яка передбачає нанесення обмазки, що містить, що представляє собою гомогенізовану суміш, що складається з фенолформальдегідної смоли, що має коксове число в отвержденном стані не менше 52 % (А), борного андігріда та карбоніла заліза (В) у співвідношенні А: Б: В від 90:8:2 до 50:40:10, і подальшу двостадійну термообробку. На першій стадії здійснюють нагрівання за допомогою інфрачервоної лампи до  $200 \div 350^\circ\text{C}$  протягом  $2 \div 8$  хвилин, а потім на другій стадії нагрівання проводять впливом газополум'яного пальника протягом  $10 \div 30$  хвилин за температури обмазки  $850 \div 1000^\circ\text{C}$ .

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 46   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |



Підвищення ефективності проникнення бору, зниження температури та часу насичення сталевій поверхні колеса та спрощення технології процесу забезпечується за рахунок використання обмазки, що містить компоненти у вигляді гомогенізованої суміші до молекулярних розмірів. Обмазку готують в такий спосіб. У реактор з мішалкою завантажують 200 мас. ч. етилцеллозольва, після чого додають 48 мас. ч. борного ангідриду та перемішують до повного розчинення останнього.

Далі, до розчину борного ангідриду додають 65 мас. ч. фенолоформальдегідної смоли марки «Бакеліт рідкий» (ГОСТ 4559-71) у перерахунку на сухий продукт та 6 мас. ч. рідкого карбонілу заліза. Суміш перемішується протягом 10 хвилин при  $+20^{\circ}\text{C}$ , після чого розчинник відганяється в кількості 190 мас. ч. і уловлюється. 10 мас. ч. Етилцеллозольва, що зпливсився забезпечують пастоподібний стан одержаної обмазки, у якій всі компоненти гомогенізовані до молекулярного стану. Отриманий склад затарюється та зберігається у складських умовах не менше 1 місяця.

Процес борування проводять шляхом нанесення готової обмазки шаром 1 мм на сталеву поверхню, після чого на першій стадії прогрівують впливом інфрачервоної лампи до  $300^{\circ}\text{C}$  протягом 5 хвилин, в результаті чого фенолоформальдегідна смола затвердіває і частково коксується. Після цього для сталевого виробу з нанесеною обмазкою відразу (або після досить тривалої перерви) здійснюють другу стадію, піддаючи газополум'яному впливу і забезпечуючи на поверхні температуру  $900^{\circ}\text{C}$  протягом 15 хвилин, при цьому карбоніл заліза «розкладається», утворюючи надзвичайно активні частинки заліза атомарних розмірів, які виникають за рахунок реакції відновлення борного ангідриду з коксом, що «розкладається», утворюючи «бориди заліза, що легко проникають в сталеву поверхню», насичуючи цю поверхню і підвищуючи її твердість до показника НВ 350, що перевищує твердість абразиву.

Не торкаючись реальні процеси, що проходять в обмазці при нагріванні, і невдалі трактування в роботі [12], слід зазначити, що бориди не

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 47   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

проникають у сталеву поверхню, а осідають або утворюються на ній за рахунок осадження, подальшої дифузії атомів бору та їх взаємодії з атомами заліза та легуючих елемент.

Однак, судячи з твердості (НВ 350) бориди у цьому випадку не утворюють суцільного шару, а формується твердий розчин бору в залозі з невеликою кількістю дисперсних боридів або карбоборидів.

Подібні боровані шари одержують при застосуванні обмазки на основі борної кислоти ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) – 75% та 25% Fe (% за масою) [13]. Температура процесу під час нагрівання ТВЧ становила  $1000^\circ\text{C}$  із тривалістю обробки 5 хв. У першому випадку обмазку готували наступним чином: на 1,5 г суміші (75%  $\text{H}_3\text{BO}_3$  та 25% Fe) додавали 1 мл гідроксид амонію, 0,32 г вугілля та 1 мл розведеного водою рідкого скла. Зразки з обмазкою, що нанесена, підсушували і поміщали в індуктор індукційної печі. Отриманий розподіл мікротвердості (рисунок 1.14) має плавний характер зменшення товщини борованого шару.

У другому випадку на циліндричну поверхню зразків із сталі 20 наносили шар обмазки, що складається з основної суміші (75%  $\text{H}_3\text{BO}_3$  та 25% Fe) та добавок, але без рідкого скла. У цьому випадку на 1,5 г суміші додавали 1 мл гідроксиду амонію та 0,32 г вугілля. Характер розподілу мікротвердості мало змінився.

Хоча згадані технології і призводять до деякого підвищення зносостійкості все ж таки не знайшли свого застосування. В одних випадках основною причиною цього є недостатня товщина одержуваних компактних борованих шарів, а також їх висока твердість і крихкість. Висока твердість призводить до зношування сполученої деталі, а крихкість призводить до відколів шарів та перекладу вузла тертя до абразивного виду зношування.

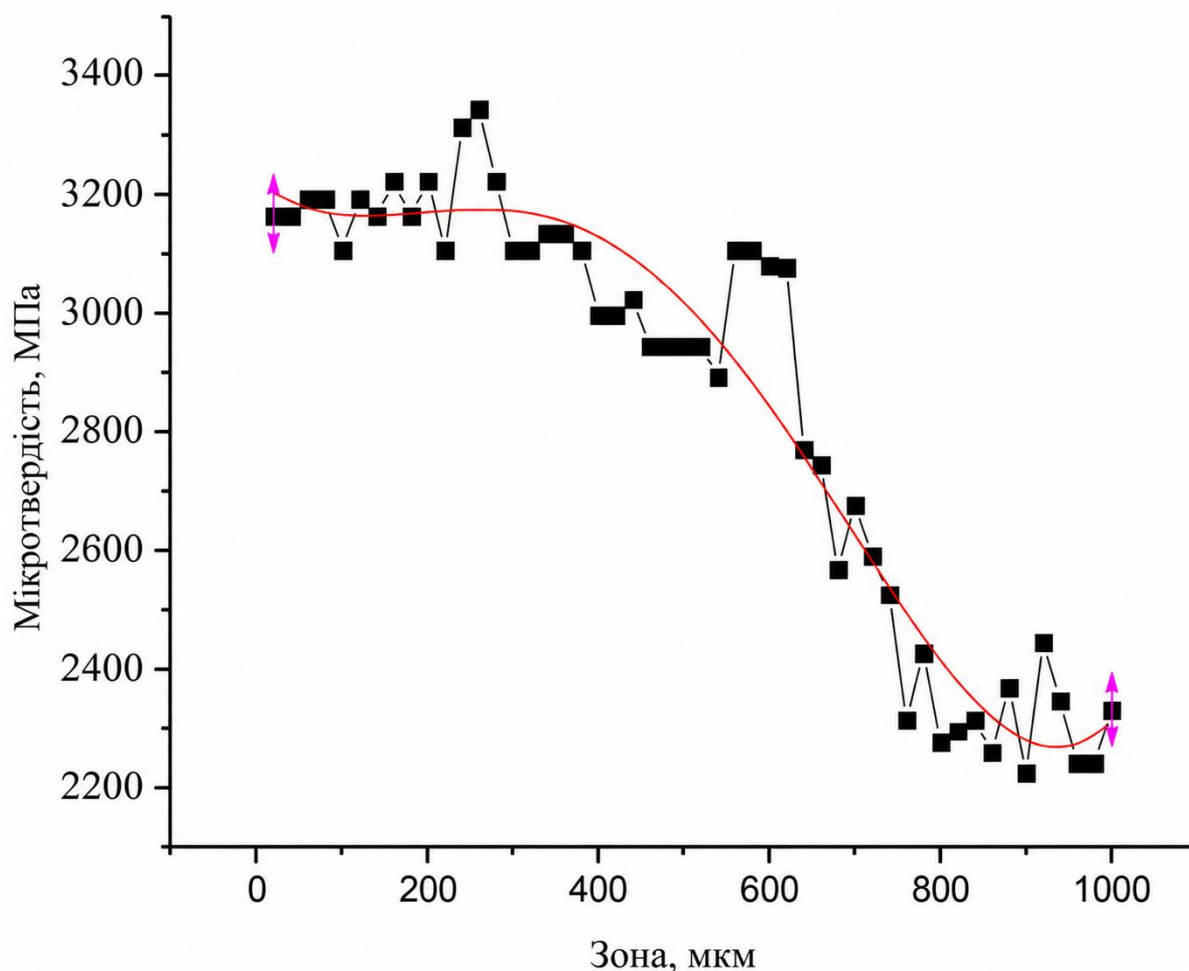


Рисунок 1.14 – Характер розподілу мікротвердості за товщиною шару

В інших випадках описується досить складна технологія підготовки та проведення процесу борування мало прийнятна для ремонтного виробництва, немає конкретного опису одержуваних структур та умов їх застосування.

У ряді випадків подібні шари за прийнятною технології їх отримання можуть знайти своє застосування. Для цього потрібно наукове обґрунтування умов обробки, встановлення фазового складу одержуваних шарів, розробка самого технологічного процесу, дослідження властивостей одержуваних шарів (наприклад, зносостійкості, крихкості) та визначення номенклатури деталей та робочих умов застосування. Як правило, боровані композиційні шари, що мають підвищений запас пластичності і мінімальну крихкість, отримують з обмазок при застосуванні нагріву ТВЧ. Зокрема, розроблено склад для борування [14-16], що містить, як боровуючих агентів карбід бору

марки М40 (ГОСТ 3647-80) або аморфний бір марки Б-99 (ТУ 1-92-154-90). Як флюс автори використовували відомий склад для індукційної наплавки (флюс П-0,66), що складається з прожареної бури, борного ангідриду, силікокальцію і зварювального флюсу АН-348А, взятих у співвідношенні (% за масою): - 30 -  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ , 2 АН-348А. Активаторами борування були хімічно чисті реактиви  $\text{CaF}_2$  і  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .

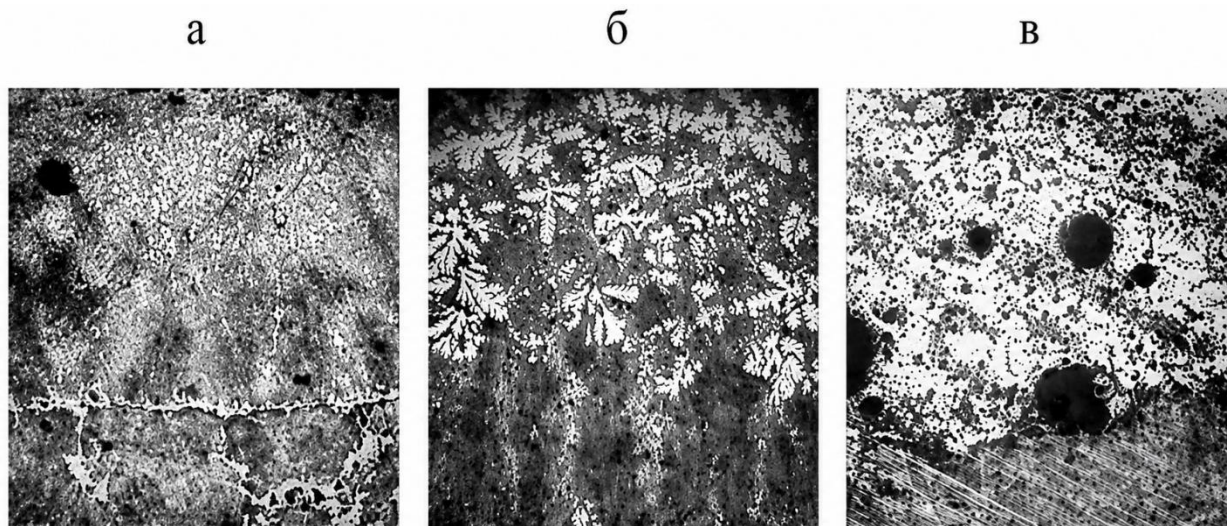
Після ретельного перемішування готові суміші, що містять флюс, боруючий компонент і активатор, у вигляді пасти вільно наносили на попередньо підготовлені, зачищені зразки розміром 30x50x5 мм, вирубані з прокату сталі 65Г. Як сполучні використовували рідке скло або казеїновий клей, що вводяться в готовий склад (1,5-2% за масою) [16]. Отже, у дослідженні паста наносилася на плоскі горизонтальні поверхні, що забезпечувало хороший контакт і перешкоджало сповзання насичувальної суміші при нагріванні.

Нагрівання підготовлених зразків здійснювали в петльовому індукторі діаметром 160 мм, виконаному з мідної трубки ( $d = 5$  мм), на ТВЧ-установці ЕЛСІТ - 100/20-70. Налаштування програми інвертора та геометрія індуктора забезпечували нагрівання зразків до температури 1300-1350°C протягом 40-60 с, з подальшою стабілізацією. Температуру поверхні зразків визначали за допомогою пірометра ОППР-017-ІІ. Після витримки за вказаної температури протягом певного часу (1-2 хв.) зразки виймали з індуктора і вільно охолоджували на повітрі [14].

Отримані композиційні боровані шари містили наступні фази:  $\alpha$  - Fe, FeB та  $\text{Fe}_2\text{B}$  (з вираженим переважанням  $\text{Fe}_2\text{B}$ ),  $\text{Fe}_3(\text{C},\text{B})$  та  $\text{Fe}_{23}(\text{C},\text{B})_6$ , змішаних боридів та карбоборидів Fe та Mn, метаборатів та ортоборатів заліза ( $\text{Fe}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{BO}_6$ ,  $\text{Fe}_3\text{BO}_5$ ), слідів вюстити FeO та шпинелі  $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ , різних силікатів. Тобто, при ТВЧ-нагріві легованих вуглецевих сталей у шихті на основі флюсу П-0,66, що містить від 84 до 90% боруючих агентів, на сталевій поверхні утворюються зносостійкі композиційні борідні покриття (рисунок 1.15).

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 50   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

Насичений склад шарів пояснюється механічним перемішуванням складу, що насичує обмазку і розплавленого металу. Цьому сприяло розміщення обмазки зверху на плоскій поверхні.



а – 84% B<sub>4</sub>C + 6% NH<sub>4</sub>Cl + 10% флюс П-0,66;

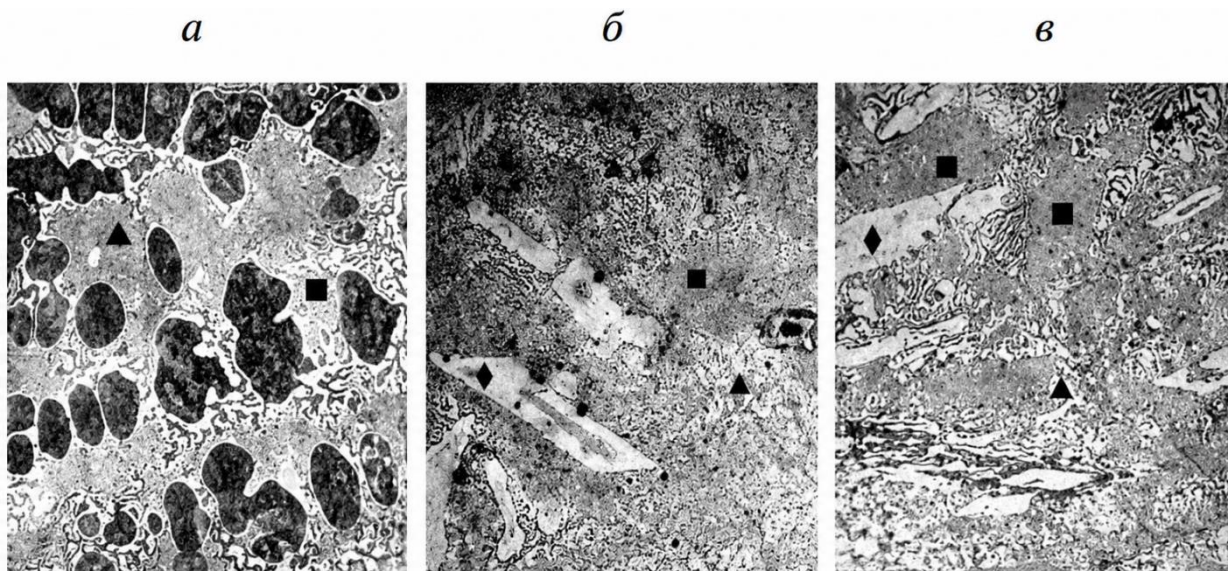
б – 84% В<sub>4</sub>С + 16% флюс П-0,66;

В – 90% В + 5% CaF<sub>2</sub> + 5% флюс П-0,66

Рисунок 1.15 – Структура борідних покриттів на сталі 65Г, отриманих за 1 хв із різних сумішей (х400)

Збільшення тривалості нагріву до 1,5 – 2 хв викликає подальший розвиток дифузійних та кристалізаційних процесів, що відбивається на структурі шару (рисунк 1.16).





а – 90%  $B_4C$  + 10% флюс П-0,66;

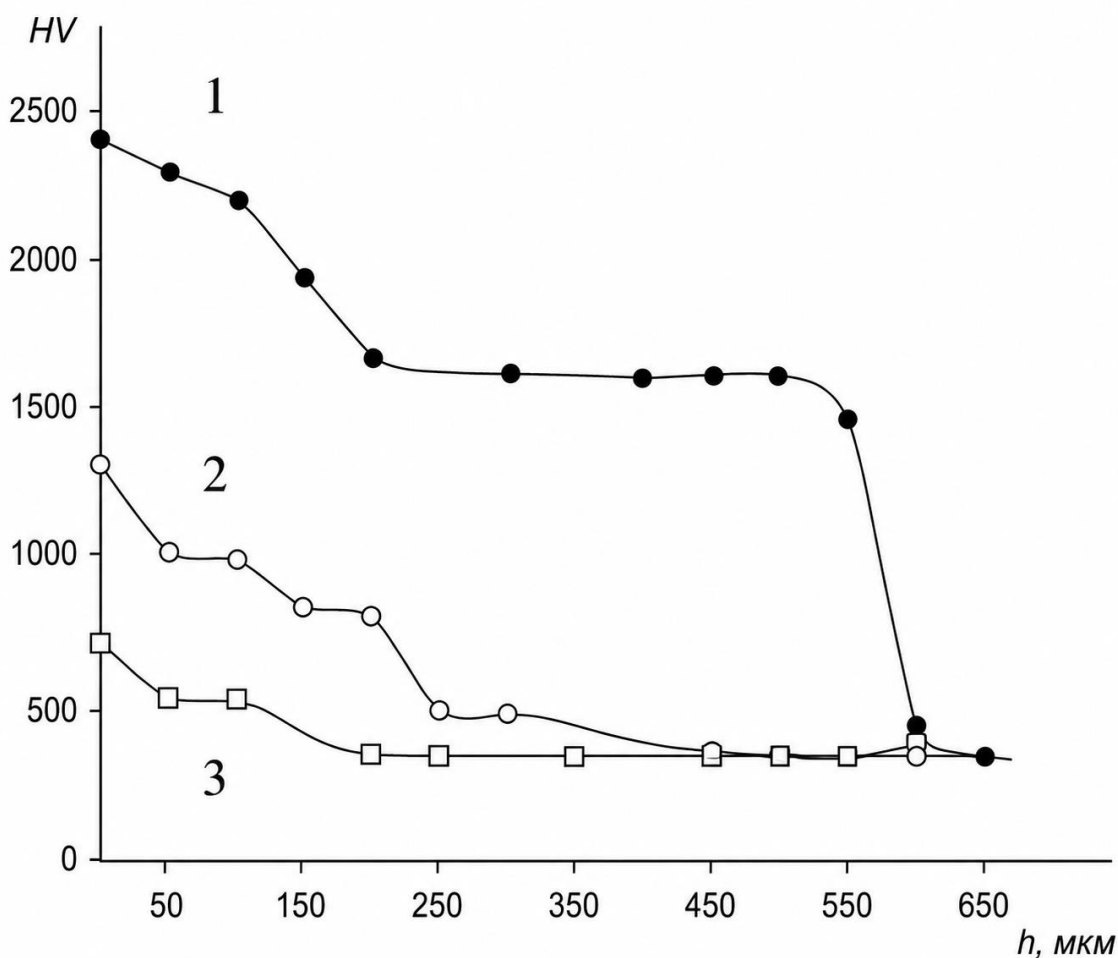
б – 90%  $B_4C$  + 5%  $CaF_2$  + 5% флюс П-0,66;

в – 90% В + 5%  $CaF_2$  + 5% флюс П-0,66

Рисунок 1.16 – Структура борідних покриттів на сталі 65Г, отриманих за 1,5 хв із різних сумішей (x400)

У шарі, отриманому при ТВЧ-нагріві з суміші, що містить карбід бору і флюс П-0,66 без активаторів, спостерігається утворення ледебуритної евтектики Fe-B, яка на зразках, витриманих при температурі 1200 - 1300°C протягом 1 хв мала дрібнозернисту структуру, і причому склад евтектики змінюється на світліших і темних ділянках. В евтектичній матриці спостерігаються рівномірно розподілені замкнуті темні карбідні області (рисунок 1.16 а). Мікротвердість покриття, що утворюється 1450-1600 HV, товщина - до 300-350 мкм. Введення ж до складу боруючої суміші активатора  $CaF_2$  та (або) заміна карбіду бору більш термодинамічно активним Ваморфн призводить до появи в залізо-боридній матриці покриття нових фаз - пластинчастих кристалів, змішаних карбоборидів Mn і Fe (рисунок 1.15, б і в). Мікротвердість таких покриттів на поверхні сталі 65Г досягає максимальних значень 2250 – 2350 HV, а товщина 600 – 800 мкм. Покриття обох типів мають згладжену межу з основним металом, викликану його частковим оплавленням.

Твердість одержуваних композиційних борованих шарів плавно знижується від поверхні за його товщиною (рисунок 1.17).



1 - 90% В + 5%  $\text{CaF}_2$  + 5% флюс П-0,66;

2 - 84%  $\text{B}_4\text{C}$  + 16% флюс П-0,66;

3 - 84%  $\text{B}_4\text{C}$  + 6%  $\text{NH}_4\text{Cl}$  + 10% флюс П-0,66

Рисунок 1.17 – Розподіл мікротвердості по глибині покриттів, отриманих з різних сумішей, що борують, на сталі 65Г за 1 хв.

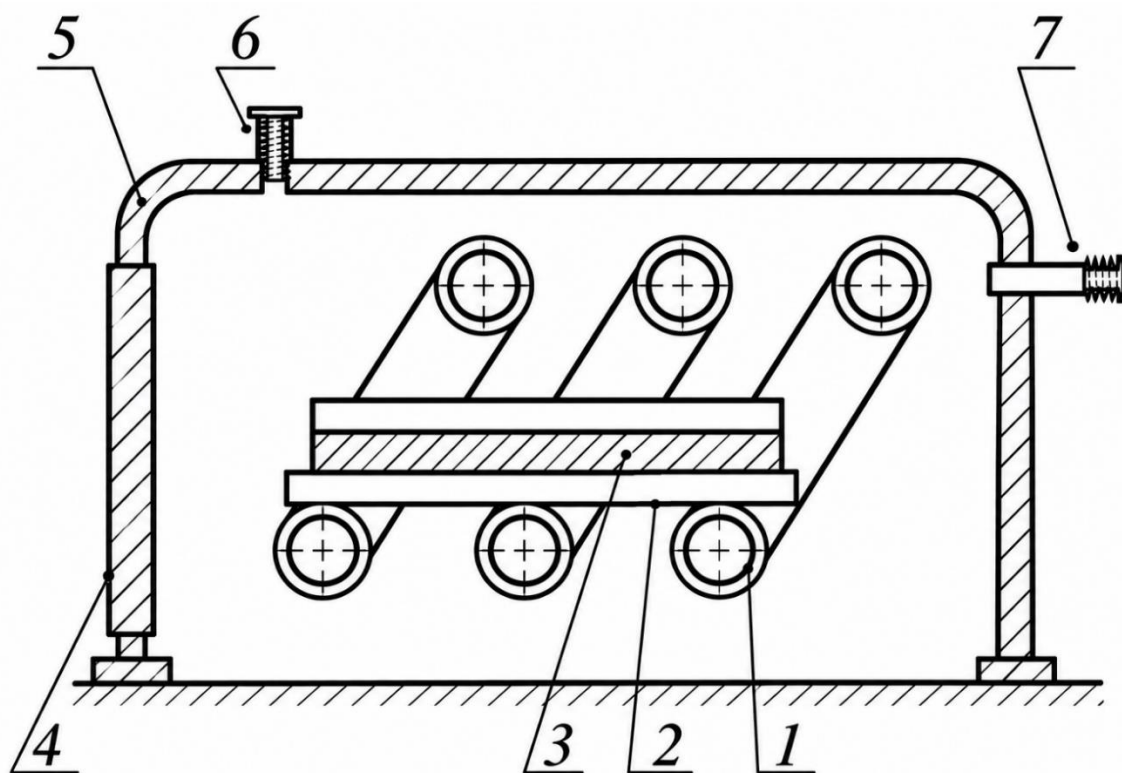
Аналогічні результати виходять при використанні інших сталей. Наприклад, на сталі 50ХГА була отримана товщина композиційного борованого шару, що дорівнює 800 мкм.

Щоб уникнути окислення боруючої суміші і зниження насичувальної здатності у роботі при насиченні порошку в пічний простір вводять аргон, а

роботі подають захисну атмосферу продуктів піролізу граничних і ненасичених вуглеводнів (продуктів піролізу гасу).

Борювання у цих випадках проводять при 850 – 1050°C у твердому агрегатному стані оброблюваних поверхонь.

При нагріванні ТВЧ для виключення окислення рекомендували використовувати захисний ковпак, під який подається аргон при надмірному тиску 100 - 200 Па (рис. 1.18) [12].



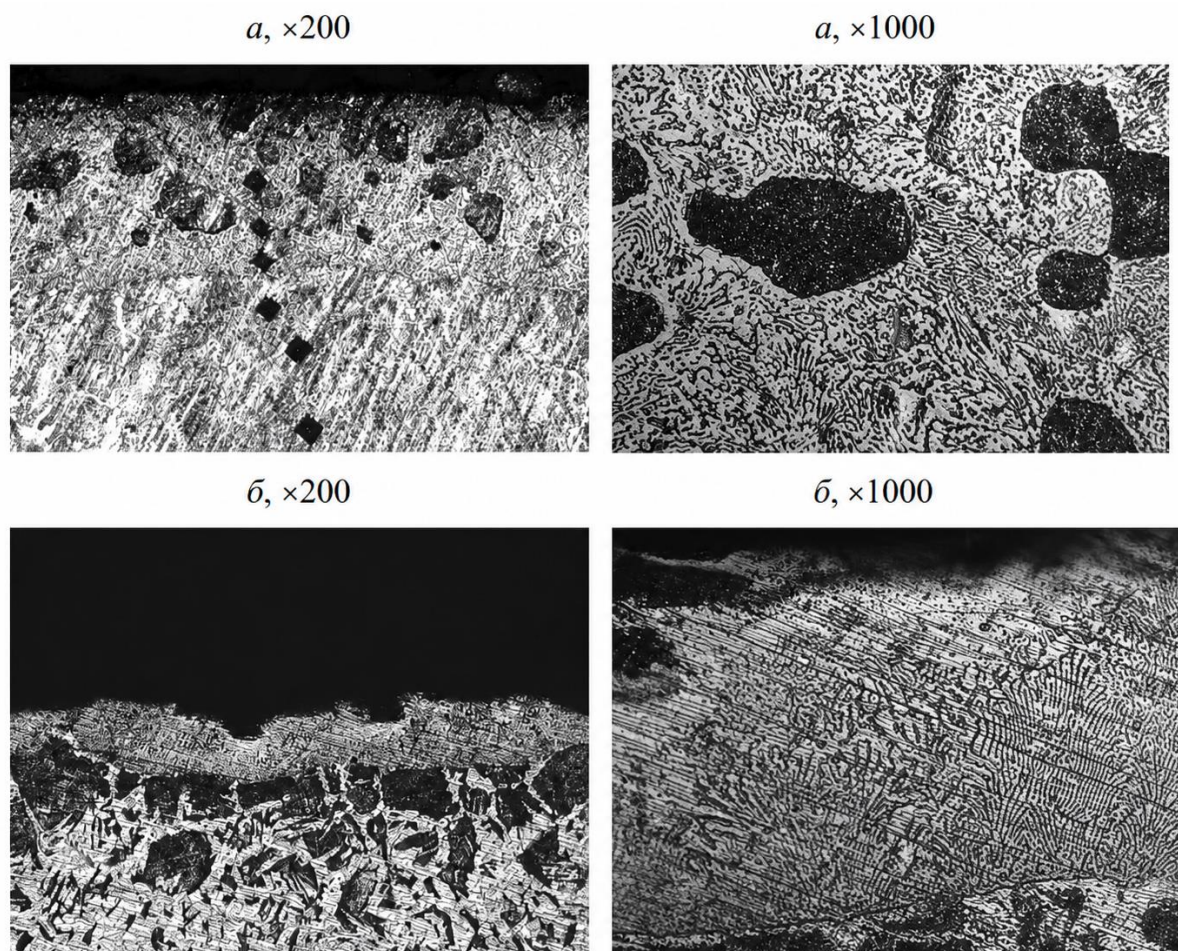
- 1 – індуктор; 2 – асбестова пластина; 3 – металевий зразок з насичувальною обмазкою; 4 – оглядове вікно; 5 – металевий ковпак; 6 – клапан;  
7 – штуцер для подачі захисного газу

Рисунок 1.18 – Пристрій для борювання плоских поверхонь із нагріванням ТВЧ

З аналізу літературних джерел слід зазначити, що термоциклічний режим борювання при нагріванні ТВЧ призводить до зниження товщини борюваного шару в 2 рази. При цьому для зниження забруднення навколишнього простору при проведенні процесу доцільно застосування як



сполучного елементу вогнетривких наповнювачів з пластифікатором, замішаних на воді. Така обмазка, що насичує, добре утримується на вертикальних поверхнях і не відшаровується. При цьому було встановлено, що при проведенні борування, починаючи з температури 1100-1150°C, традиційна структура шару не утворюється, а утворюється евтектика. Наприклад, після витримки протягом 5 хв сталі 45 і 65Г утворився борированный шар товщиною 120 мкм, а при термоциклірованні в інтервалі температур 1150 – 600°C – 60 мкм (рисунок 1.19). До складу обмазки, товщиною 2-3 мм, входив карбід бору, активатор і вогнетривкий наповнювач, що включає спеціальний пластифікатор, у присутності якого є вода [13].



а – при безперервному нагріванні; б – при термоциклірованні

Рисунок 1.19 – Мікроструктури борідних шарів на вуглецевій сталі при нагріванні ТВЧ

Інтегральна мікротвердість евтектичної складової шару становила  $7800 \pm 150$  МПа. Для проведення процесу борування з нагріванням ТВЧ конкретних деталей повинно розроблятися індивідуальне обладнання та пристрої особливо при їх масовому виробництві. Зокрема, для зміцнення робочих поверхонь стрілочастих лап сільськогосподарських машин індуктор повторює профіль деталі (рисунок 1.20). Склад створення борованого шару на сталі 65Г містив 80% карбіду бору і 20% – флюсу [16]. При цьому для кожного типу обладнання та взаємного розташування деталі та індуктора необхідне індивідуальне визначення електричних та часових параметрів процесу.

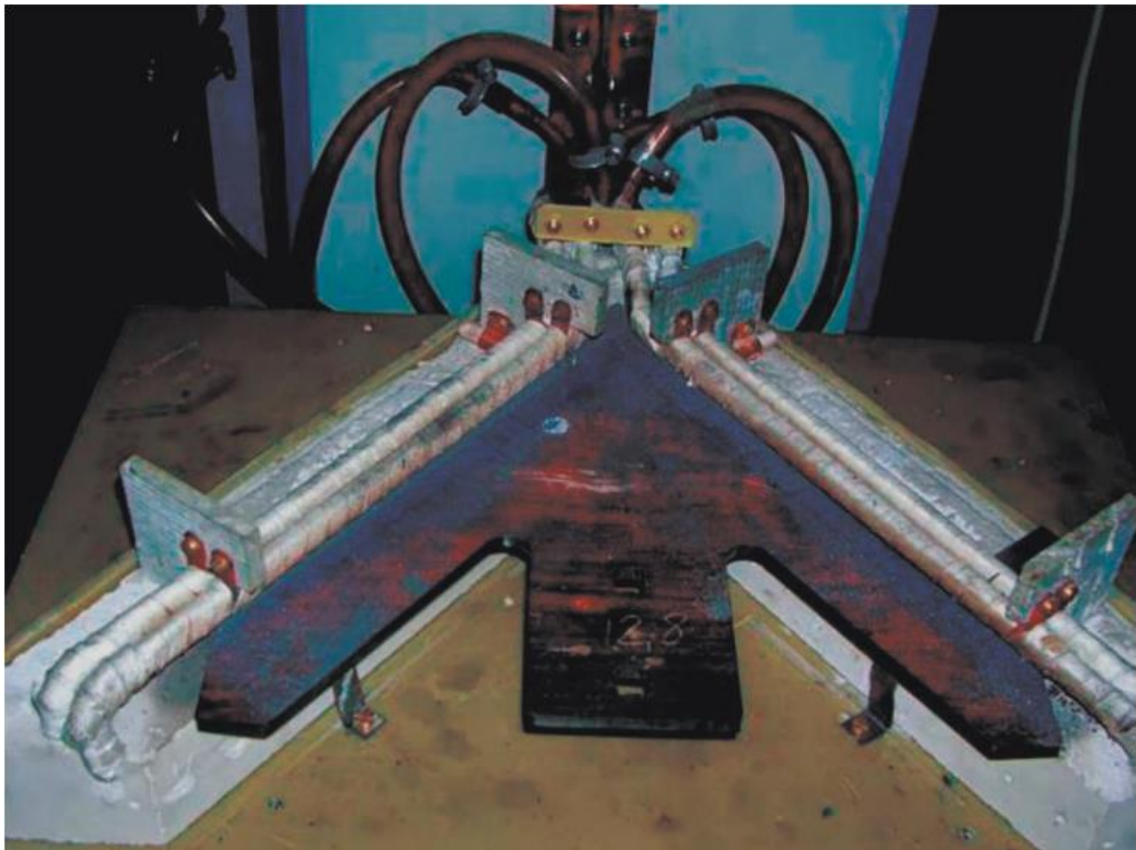


Рисунок 1.20 – Заготівля стрілочасті лапи, встановлена в індуктор із двома паралельними гілками.

З деталей, що рекомендуються до зміцнення боруванням, крім деталей рухомого складу, частіше зустрічаються деталі сільськогосподарських машин та деталі паротурбінного обладнання.

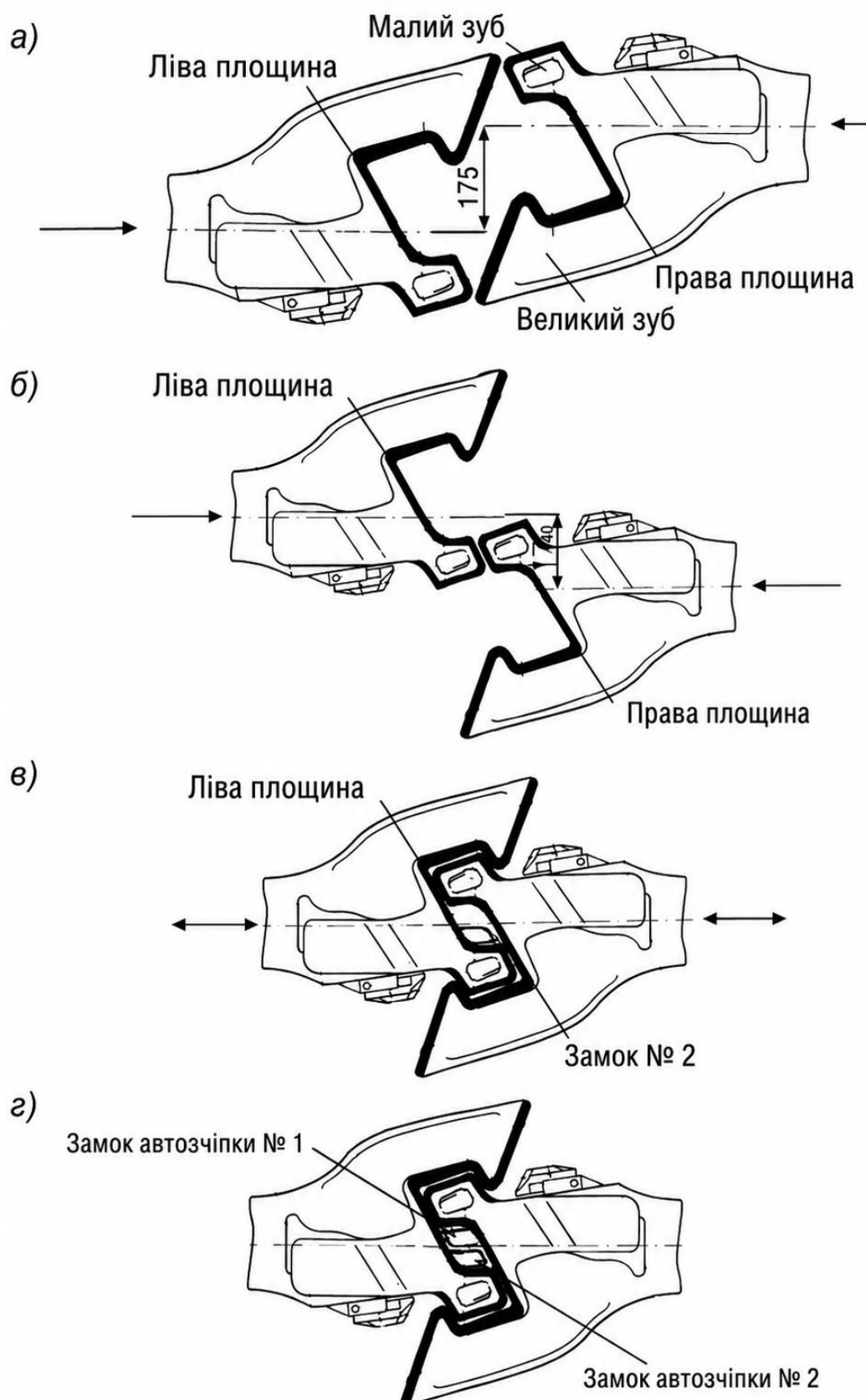
## 2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ І РОБОТИ АВТОЗЧЕПНОГО ПРИСТРОЮ

### 2.1 Умови роботи поверхонь контуру зачеплення та деталей механізму зчеплення. Дефекти автозчепного пристрою

Автозчепний пристрій працює у складних умовах, відчуває сильні ударні та тягові навантаження. Воно не захищене від пилу, бруду, атмосферних опадів, що експлуатується в широкому інтервалі температур. Окремі поверхні деталей автозчеплення стійкості працюють в умовах постійного тертя та інтенсивного абразивного зношування без змащувального матеріалу. До них пред'являються високі вимоги до конструктивної міцності та запасу пластичності. При зчепленні вагонів взаємодія автозчеплень проходить такі стадії (рисунок 2.1) [4].

При підході одного вагона до іншого (рисунки 2.1а і 2.1б) автозчеплення ковзають один по одному в горизонтальній площині і спрямовуються скошеними поверхнями зубів так, що малі зуби кожної з двох автозчеплень входять до зіву іншого автозчеплення [4]. При цьому, щоб не сталося мимовільного розчеплення автозчепного пристрою, простір між малими зубами (рисунок 2.1г) повинен бути заповнений (замкнено) замками. Якщо, наприклад, у цьому просторі буде лише один замок (рисунок 2.1в), то автозчепний пристрій можна вільно розвести, тобто замикання автозчеплень не відбудеться. Отже, щоб розчепити замкнені автозчеплення (рисунок 2.1г), необхідно прибрати один із замків (рисунок 2.1в) усередину головки автозчеплення. Поверхні контуру зачеплення корпусу в зчепленому стані взаємодіють із суміжним автозчепленням: при стисканні зусилля сприймається ударною та бічною поверхнями малого зуба, а при розтягуванні - тяговими поверхнями малого та великого зубів. [4].

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 57   |



а, б – граничні положення автозчеплень у момент зближення;

в – розчеплене автозчеплення; г – зчеплене автозчеплення

Рисунок 2.1 – Схеми стадій процесу зчеплення автозчеплень

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

РДБ.3Т-220.02 ПЗ

Арк.

58



Автозчеплення забезпечує такі процеси: зчеплення, розчеплення, відновлення зчеплення та маневрову роботу без зчеплення («на буфер»). Процес зчеплення супроводжується ковзанням малого зуба одного автозчеплення по скошеній поверхні малого або великого зуба іншого автозчеплення доти, доки малий зуб не увійде в зіву. Натискання на замки призводить до їхнього переміщення всередину кишень корпусу. При подальшому зближенні автозчеплень малі зуби починають натискати на виступають у зів лапи 11 (рисунок 1.3) замкоутримувачів; замкоутримувачі повертаються, їх противаги 8 піднімають запобіжники, які разом із замками переміщуються всередину кишень корпусів. Дійшовши до крайнього становища, малі зуби звільняють замки, які під впливом своєї маси виходять із кишень у зів автозчеплення. Сигнальні відростки трьох замків знаходяться всередині кишень. Так як замки розміщуються в просторі між малими зубцями зчеплених автозчеплень, то переміщення автозчеплення у зворотному напрямку (саморозчеплення) неможливе. Переміщення замків усередину кишень також виключено: торець верхнього плеча запобіжника знаходиться проти противаги замкоутримувача і при русі замку впереться в нього [4].

Процес розчеплення автозчеплень здійснюється при переміщенні всередину корпусу одного із замків. Для цього слід стиснути автозчеплення та розчепним приводом повернути валик 6 підйомника (рисунок 1.3). Разом з ним повернеться витяг 18 і широким пальцем 19 натисне на нижнє плече 16 запобіжника. При цьому його верхнє плече піднімається вище за противагу замкоутримувача, тобто запобіжник від саморозчеплення буде вимкнений. Подальше обертання валика витягу супроводжується натисканням широкого пальця підйомника на замок і переміщенням замка всередину кишені. Вузкий палець 17 витягу натискає знизу на розчіпний кут 12 замкоутримувача 9 і піднімає його вгору (овальний отвір у замкоутримувачі допускає це переміщення). Пройшовши розчіпний кут, вузький палець витягу звільняє замкоутримувач, який під дією власної ваги опускається вниз; при цьому вузький палець підйомника заходить за розчіпний кут замкоутримувача [18].

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 59   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

Замок перебуватиме всередині корпусу автозчеплення до розведення автозчеплень, оскільки він спирається на широкий палець підйомника, а його вузький палець взаємодіє із замкоутримувачем, що упирається в малий зуб автозчеплення. При розведенні автозчеплення лапа замкоутримувача слідує за малим зубом суміжного автозчеплення, і коли вона вийде в зів настільки, що розчіпний кут перестане утримувати вузький палець підйомника, останній повернеться в початкове положення і замок вийде в зів автозчеплення. Автозчеплення готові до розведення, а механізм підготовлений до зчеплення. Відновлення зчеплення без розведення автозчепних пристроїв здійснюється шляхом підняття замкоутримувача дерев'яним або металевим стрижнем через отвір у великому зубі. При натисканні стрижнем на приплив лапи замкоутримувача 11 звільняється вузький палець 17 підйомника (рисунок 1.3). Замок, підйомник та запобіжник опускаються в нижнє положення – автозчеплення зчеплені.

Робота "на буфер", тобто. штовхання вагонів без зчеплення автозчепних пристроїв забезпечується при повороті валика підйомника розчіпним приводом, рукоятку розчіпного важеля при цьому встановлюють на полицку кронштейна. Деталі механізму зчеплення займають положення, що відповідає розчепленому стану, і утримуються в цьому положенні натягнутим ланцюгом.

Таким чином, поверхні контуру зачеплення та деталей механізму зчеплення багаторазово відчують інтенсивне тертя ковзання без змащувального матеріалу та зношуються. Внаслідок такої взаємодії за даними пробігових випробувань на експериментальному кільці інтенсивність зношування поверхонь автозчеплення, віднесена до 100 тис. км пробігу, становить: малий зуб – 1,15-1,26 мм, великий зуб – 1,25-1,8 мм, замикаюча поверхня замку – 1,2-2,9 мм. Зношування тягових і ударних поверхонь зубів призводить до збільшення зазорів у контурі зачеплення, що в свою чергу є причиною збільшення ударних навантажень на ці та інші робочі поверхні і є причиною подальшого прогресуючого зносу та саморозчеплення.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 60   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

У зв'язку з постійним зростанням інтенсивності залізничних перевезень посилюються вимоги до експлуатаційної довговічності деталей рухомого складу: збільшення навантаження на вісь до 25 тс з одночасним збільшенням міжремонтного пробігу деталей до 500 тис. км. Розрахунки показали, що гранична інтенсивність зношування робочих поверхонь з урахуванням сучасних вимог має бути не більше 0,6 мм на 105 км пробігу [10].

В даний час до литих деталей пред'являються вимоги міжремонтного пробігу - 160 тис.км при навантаженні 23,5 тс на вісь при твердості металу корпусу автозчеплення після остаточної термічної обробки, що дорівнює 192 - 262 НВ. Тобто деталі, що поставляються промисловістю, за своєю зносостійкістю не відповідають сучасним вимогам при роботі з навантаженням на вісь 25 тс з величиною пробігу до 500 тис.км. Отже, потрібно вдосконалення технології ремонту шляхом пошуку ефективніших методів відновлення та зміцнення відновлених деталей, які забезпечують підвищення надійності та довговічності у період міжремонтного пробігу (від капітального до капітального ремонту). При цьому технології відновлення та зміцнення робочих поверхонь повинні відповідати вимогам ремонтпридатності та оброблюваності різанням [17].

Ця робота присвячена розробці зміцнюючої технології, яка повинна забезпечити відновленим поверхням корпусу автозчеплення надійність роботи та довговічність від капітального до капітального ремонту. Автозчепний пристрій в процесі експлуатації крім навантажень розтягування при строгуванні і русі складу і навантажень стиснення при гальмуванні і зупинці відчуває ударні і згинальні навантаження в момент зачеплення, аварійного гальмування складу, кручення при вході рухомого складу в поворот і при виході з нього. Значні поздовжні та поперечні навантаження на автозчеплення з'являються при переломах профілю залізничного полотна, сортувальних станціях і гірках. Перевантаження у матеріалі деталей автозчеплення виникають і від несинхронності коливань з'єднаних вагонів. В результаті можлива поява деформацій окремих деталей, відколів, тріщин, руйнування

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 61   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

деталей та саморозчеплення вагонів. Складна конфігурація багатьох деталей також є джерелом концентрації напруг, особливо в місцях переходу від одного перерізу до іншого та наявності структурних концентраторів напруг (газових та шлакових раковин).

Такі умови роботи призводять до утворення різноманітних дефектів, які поділені на дві групи [14-15]:

– дефекти, які виникають з природних причин у процесі нормального зношування пристроїв при стандартних навантаженнях та правильної експлуатації. Вони зумовлені природними процесами зношування та старіння металу пристроїв, при якому відбувається комплексний вихід з ладу в результаті нормальної взаємодії деталей;

– дефекти, що виникають в результаті аварійних пошкоджень, при яких пристрій виходить з ладу практично миттєво або деформується настільки, що експлуатація у нормальному режимі стає неможливою. Такі дефекти зазвичай призводять до утворення вибоїн, тріщин, зам'ятин, при цьому створюючи загрозу безпеці руху складу, ймовірність виникнення ситуацій, які можуть спричинити економічні збитки, а також становити небезпеку життю та здоров'ю людей. Саме дефекти другої групи необхідно усувати в найкоротший термін.

Причини виникнення аварійних дефектів:

1. Порушення правил експлуатації автозчепного пристрою;
2. Великі динамічні навантаження при маневрових роботах на сортувальних вузлах та станціях, гальмуванні, торканні рухомого складу з місця;
3. Зовнішнє середовище (наявність у зонах тертя частинок абразиву, перепади температур, підвищена вологість);
4. Порушення технології виготовлення елементів автозчеплення або порушення правил проведення ремонту елементів автозчеплення.

В результаті порушення технологічного процесу ремонту елементів автозчеплення не забезпечується її надійність експлуатації, відбувається

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 62   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |



швидке зношування відремонтованих частин, що призводить до зменшення терміну служби пристрою та необхідності проведення повторного ремонту. При цьому є значні економічні втрати внаслідок простою вагона, витрат на матеріали та обладнання для ремонту.

Дефекти корпусу автозчеплення, які підлягають ремонту за допомогою наплавлення, мають окрему класифікацію з урахуванням специфіки:

1. Зношування торцевої поверхні хвостовика за умови, що довжина хвостовика становить менше 645 мм. Ремонтується наплавленням.

2. Зношування поверхонь хвостовика з поглибленням зношеної частини до 8 мм. Ремонтується наплавленням.

3. Тріщини хвостовика та перехідної зони від клинового отвору до головної частини загальною довжиною до 100 мм у тому випадку, якщо корпус перебуває в експлуатації понад 20 років та сумарною довжиною до 150 мм для корпусів, що працюють менше за цей термін. Ремонтується заварюванням. Також враховуються тріщини, що виникли повторно після першого заварювання.

4. Зношування тягових і ударних частин обох зубів глибиною до 8 мм. Усувається застосуванням наплавлення.

5. Зношування зіва (рисунк 2.2). Ремонт здійснюється із застосуванням наплавлення за умови, що твердість наплавленого шару становить не менше 250 НВ.

6. Тріщини по кутах вікон замка та замкоутримувача. Ремонтується заварюванням.

Дефектами позицій 4 і 5, які відновлюються методами зварювальних технологій (наплавленням) і які в багатьох випадках є причиною передчасного виходу з відновлених поверхонь, тобто. не забезпечують працездатність протягом 3 років, і приділено головну увагу у цій роботі.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.ЗТ-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 63   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |



Рисунок 2.2 – Зношування контуру зачеплення

## 2.2 Матеріали для виготовлення корпусу автозчепного пристрою та деталей механізму зчеплення

Литі деталі автозчепного пристрою (корпусу автозчеплення та механізму зчеплення) виготовляють із маловуглецевих та низьколегованих конструкційних сталей. Хімічний склад сталей виготовлення автозчепного пристрою представлений у таблиці 2.1.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-220.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 64   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталей для деталей автозчеплення

| Матеріал | Вміст елементів, % за масою (решта — залізо) |           |           |           |      |           |             |         |
|----------|----------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------|-----------|-------------|---------|
|          | C                                            | Mn        | Si        | Cr        | Ni   | V         | Ti          | S i P   |
| 20ГЛ     | 0.17-0.25                                    | 1.10-1.40 | 0.30-0.50 | 0.30      | 0.30 | -         | -           | до 0.04 |
| 20ФЛ     | 0.17-0.25                                    | 0.80-1.20 | 0.30-0.50 | 0.30      | 0.30 | 0.06-0.13 | -           | до 0.04 |
| 20ГТЛ    | 0.17-0.25                                    | 1.00-1.30 | 0.30-0.50 | 0.30      | 0.30 | -         | 0.01-0.13   | до 0.04 |
| 20ФТЛ    | 0.17-0.25                                    | 0.70-1.20 | 0.30-0.50 | 0.30      | 0.60 | 0.01-0.06 | 0.005-0.025 | до 0.04 |
| 20ГФТЛ   | 0.17-0.25                                    | 1.00-1.30 | 0.30-0.50 | 0.30-0.50 | 0.30 | 0.04-0.07 | 0.01-0.02   | до 0.04 |
| 20Г1ФЛ   | 0.17-0.25                                    | 0.90-1.40 | 0.30-0.50 | 0.30      | 0.30 | 0.06-0.13 | -           | до 0.04 |
| 20ГСФТЛ  | 0.17-0.25                                    | 0.90-1.40 | 0.30-0.60 | 0.30-0.60 | 0.60 | 0.01-0.06 | 0.005-0.025 | до 0.04 |

Корпус автозчеплення, деталі механізму зчеплення, передній і задній упори, балка, що центрує, виготовляються методом лиття за ГОСТ 22703-91. Відповідно до цього стандарту литі деталі поділяють на дві групи: до першої відносяться корпус автозчеплення та тяговий хомут; до другої - передній і задній упори, замок, замкоутримувач, підйомник замку, валик підйомника, балочка, що центрує. Деталі, як першої, так і другої групи, повинні виготовлятися з мартенівської сталі або зі сталі, що виплавляється в електричних печах.

Вміст вуглецю в сталі має бути не більше 0,25%, сірки та фосфору не більше 0,04%. Зміст інших елементів має бути встановлений за нормативно-технічною документацією на деталі. Деталі необхідно піддавати термообробці відповідно до нормативно-технічної документації, тобто. загартуванню та високому відпуску, або нормалізації та низькому відпалу (таблиця 2.2) [17].

Таблиця 2.2 – Режими термічної обробки литих деталей із сталі 20ГЛ

| Вид обробки                  |                                  |                                          |                                   |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------|
| Температура нормалізації, °С | Температура низького відпалу, °С | Температура нагріву під загартування, °С | Температура високого відпуску, °С |
| 880-900                      | 600-650                          | 870-890                                  | 620-650                           |

В даному випадку термічна обробка застосовується для усунення крихкої литої дендритної структури та зняття напруги за рахунок перекристалізації металу основи при нагріванні та встановленні остаточних властивостей після низького відпалу або високої відпустки.

Здаточними характеристиками механічних властивостей стали для деталей першої групи є межа плинності, відносне подовження та ударна в'язкість, для деталей другої групи - межа плинності та відносне подовження.

Для забезпечення необхідних механічних властивостей металу заводи-виробники автозчепного пристрою за погодженням із замовником застосовують марки сталі залежно від вихідного матеріалу, що використовується, і легуючих добавок. ГОСТ 22703-91 передбачає лиття деталей автозчепного пристрою із сталей 1 – 4-ї категорії якості. Фактично застосовуються сталі 1 - 2-ї категорій, це сталі марок 20ГЛ, 20ГТЛ, 20Г1ФЛ (20ГФЛ), 20ФТЛ. Навантаження плинності корпусів автозчеплення та тягових хомутів при статичному розтягуванні зі зміщенням поздовжніх осей його вертикалі 50 мм та залишкової деформації 0,2% має бути не менше 250 тс (2450кН).

Крім зазначених марок сталей, досвідчене використання отримала сталь марки 20ГСФТЛ, що відноситься до класу холодостійких сталей, що не старіють. Після гарту та високої відпустки при температурі випробувань мінус 60°С забезпечуються мінімальні значення межі плинності (600 МПа), відносного подовження (10 %), відносного звуження (25%) та ударної в'язкості (23,0 Дж/см<sup>2</sup>).

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  | 66   |

Деякі деталі механізму зчеплення, наприклад, замкоутримувач, можуть бути виготовлені зі сталей 15Л, 20Л. Запобіжник замку виготовляють методом гарячого штампування зі сталі марки Ст5 або шляхом лиття зі сталей 20ГЛ.

Відповідно до міждержавного стандарту запобіжник замку (варіант 1) є виливком 3-ї групи за ГОСТ 977-88 і має бути виготовлений із сталі марки 32Х06Л категорії міцності КТ45. Запобіжник замку (варіант 2) є штампованою поковкою Гр. І за ГОСТ 8479-70 і має бути виготовлений з прокату категорії 2 сталі марок Ст5пс і Ст5сп за ГОСТ 535-2005.

Клин тягового хомута є штампованою поковкою і має бути виготовлений із сталі марки 38ХС за ГОСТ 4543-2016. Допускається виготовлення із профілю за ГОСТ 5267.0-90 [18].

Результати аналізу автозчепного пристрою, а також умови його роботи, дозволили визначити напрямок роботи для вдосконалення технології поверхневого зміцнення, підвищення працездатності поверхонь зачеплення.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-220.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 67   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

### 3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС БОРУВАННЯ ПОВЕРХНІ ВЕЛИКОГО ЗУБУ КОРПУСУ АВТОЗЧЕПНОГО ПРИСТРОЮ

Головним завданням технологічного процесу є забезпечення необхідних властивостей оброблюваної деталі відповідно до вимог технічних умов, які забезпечують надійність експлуатації та задану довговічність.

#### 3.1 Підготовка тягової поверхні великого зуба корпусу автозчепного пристрою

Після зношування (рисунок 3.1) тягова поверхня великого зуба піддається відновленню розмірів шляхом електродугового наплавлення. Далі відновленим поверхням з використанням механічної обробки шаблонів надаються остаточні експлуатаційні розміри. При цьому твердість поверхонь повинна бути понад 250 НВ для вантажних вагонів та понад 450 НВ для рефрижераторних та пасажирських.

Слід мати на увазі, що електродугове наплавлення пов'язане з високими температурами нагріву та утворенням у наплавленому шарі структури з дендритною будовою, а в зоні термічного впливу – крупнозернистої структури відманштетової будови, які мають високу крихкість. Крім цього, у наплавленому металі в деяких місцях утворюються залишкові напруження розтягування. Наведені недоліки не сприяють надійній роботі та знижують довговічність відремонтованого корпусу автозчеплення.

Для виправлення цих дефектів слід застосовувати повний відпал, який виправить литу структуру, приведе їх у рівноважний стан, тобто. зніме залишкову напругу, зробить однаковим хімічний склад по всьому перерізу корпусу автозчеплення, знизить твердість. У комплексі це завжди забезпечує оптимальні експлуатаційні властивості.

Крім цього, відпал вимагає для свого проведення нагрівальних печей та великих енергетичних, фінансових, трудових та тимчасових витрат. Отже,

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 68   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

застосування зміцнювальної обробки є технологічно та економічно обґрунтованим.



Рисунок 3.1 – Зношена тягова поверхня великого зуба корпусу автозчеплення

Застосування борування з нагріванням ТВЧ виконає всі процеси відпалу в області зміцнення та додатково створить стискаючі залишкові напруги на зміцненій поверхні, що має суттєво підвищити надійність експлуатації.

Після надання відновленим поверхням заданих розмірів за шаблонами та шорсткістю вони вважаються підготовленими до проведення процесу борування. Слід зазначити, що зміна розмірів відбувається з допомогою борування.

При наплавленні зношених поверхонь відбувається зміна хімічного складу за рахунок сплавлення основного матеріалу деталі та електрода. У цьому ряді випадків виникає необхідність попередньої розрахункової оцінки товщини зміцнених шарів, їх фазового складу та визначення температурно-часових умов обробки. Визначення зміненого хімічного складу визначається за методикою, яка широко використовується у зварювальному виробництві.

Умовно припускаючи, що об'єм основного металу та об'єм металу електрода мають рівні частки в об'ємі наплавленого металу (50/50):

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 69   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

$$V_o = V_e = q = 0,5 \quad (3.1)$$

Далі необхідно розрахувати зміст кожного елемента за такою формулою:

$$En = E_0 \cdot q + E_e \cdot q, \quad (3.2)$$

де  $E_0$  – вміст елемента в сталі;  $E_e$  – вміст елемента в електроді.

У таблиці 3.1 наведено хімічний склад електродів, що часто використовуються для зварювання та наплавлення.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад електродів

| Марка електрода | C    | Mn   | Si  | Cr   | V    | Ti    | P     | S     |
|-----------------|------|------|-----|------|------|-------|-------|-------|
| ЕЖТ-1           | 0,15 | 1,3  | 0,7 | 0,65 | 0,07 | 0,045 | 0,04  | 0,03  |
| E50A-O3C-28     | 0,05 | 0,68 | 0,2 | 0    | 0    | 0     | 0,016 | 0,013 |

Таблиця 3.2 – Хімічний склад наплавленого шару

| Вміст елемента, % | Марка сталі / Марка електрода |              |                   |                |                |                   |
|-------------------|-------------------------------|--------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|
|                   | 20ГЛ / ЕЖТ-1                  | 20ФЛ / ЕЖТ-1 | 20Л / Е50А-ОЗС-28 | 20Г1ФЛ / ЕЖТ-1 | 32Х06Л / ЕЖТ-1 | Ст5 / Е50А-ОЗС-28 |
| Вуглець (C)       | 0,175                         | 0,173        | 0,130             | 0,178          | 0,225          | 0,188             |
| Марганець (Mn)    | 0,130                         | 1,125        | 0,653             | 1,225          | 0,665          | 0,665             |
| Кремній (Si)      | 0,500                         | 0,530        | 0,280             | 0,525          | 0,500          | 0,230             |
| Хром (Cr)         | 0,325                         | 0,475        | 0,150             | 0,325          | 0,650          | 0,000             |
| Нікель (Ni)       | 0,000                         | 0,150        | 0,150             | 0,000          | 0,150          | 0,000             |
| Мідь (Cu)         | 0,000                         | 0,150        | 0,150             | 0,000          | 0,150          | 0,000             |
| Ванадій (V)       | 0,035                         | 0,125        | 0,000             | 0,080          | 0,035          | 0,000             |
| Титан (Ti)        | 0,023                         | 0,023        | 0,000             | 0,023          | 0,023          | 0,000             |
| Фосфор (P)        | 0,040                         | 0,268        | 0,028             | 0,045          | 0,045          | 0,033             |
| Сірка (S)         | 0,015                         | 0,015        | 0,007             | 0,015          | 0,015          | 0,007             |

Для прикладу наведено розрахунок хімічного складу наплавленого шару для сталі марки 20ГЛ та електрода марки ЕЖТ-1:



$$Ec = 0,2 \cdot 0,5 + 0,15 \cdot 0,5 = 0,175\%;$$

$$EMn = 1,4 \cdot 0,5 + 1,3 \cdot 0,5 = 1,35\%;$$

$$ESi = 0,3 \cdot 0,5 + 0,7 \cdot 0,5 = 0,5\%;$$

$$ECr = 0 \cdot 0,5 + 0,65 \cdot 0,5 = 0,325\%;$$

$$ENi = 0 + 0 = 0; ECu = 0 + 0 = 0;$$

$$EV = 0 \cdot 0,5 + 0,07 \cdot 0,5 = 0,035\%;$$

$$ETi = 0 \cdot 0,5 + 0,045 \cdot 0,5 = 0,023\%;$$

$$EP = 0,04 \cdot 0,5 + 0,04 \cdot 0,5 = 0,04\%;$$

$$ES = 0 \cdot 0,5 + 0,03 \cdot 0,5 = 0,015\%.$$

### 3.2 Підготовка обладнання

Для зміцнення обробки боруванням використовуються ті ж типи маніпуляторів, які застосовують при проведенні процесу наплавлення, наприклад, модель представлена на рисунку 3.2. Важливою вимогою є можливість маніпулятора встановлювати поверхні, що зміцнюються, горизонтально вгору з допустимим нахилом до 30°.

Для проведення процесу борування з нагріванням ТВЧ поверхонь корпусу автозчеплення слід застосовувати установки достатньої потужності з автоматичним регулюванням температури та можливістю сканування поверхні, що обробляється. Параметри установки, що рекомендуються: частота струму від 5 до 20 кГц; потужність високочастотного струму – 35 – 40 кВт; величина струму 25 - 35 кА. Цим параметрам відповідає установка УІ-80АВн (рисунок 3.3 таблиця 3.3).



Рисунок 3.2 – Маніпулятор Т7.54.00.000 для фіксації корпусу автозчеплення під час проведення процесу буровання

Як індуктор використовують мідну трубку квадратного перерізу з феритовим магнітопроводом, що забезпечує нагрівання горизонтальної плоскої поверхні корпусу автозчеплення при високому ККД установки (до 75%).



Рисунок 3.3 – Установка УИ-80АВн для нагрева ТВЧ при борировании  
восстановленных поверхностей корпуса автосцепки

Таблица 5.3 – Характеристика индукционного нагревателя УИ-80АВн

| №<br>п/п | Характеристика                      | Значения                  |
|----------|-------------------------------------|---------------------------|
| 1        | Напряга, В                          | 380/50                    |
| 2        | Потужність, кВт                     | 80                        |
| 3        | Робоча частота, кГц                 | 1 - 15                    |
| 4        | Струм індуктора, А                  | 400 - 2400                |
| 5        | Тиск води, МПа                      | 0,15 – 0,25               |
| 6        | Витрата води, л/хв                  | 10                        |
| 7        | Температура охолодження (макс.), °С | 40                        |
| 8        | Габарити установки Д/Ш/В, мм        | 750*430*840 / 650*400*530 |
| 9        | Габарити блоку керування, мм        | 660 / 345 / 550           |
| 10       | Габарити конденсаторного блока, мм  | 670 / 420 / 500           |
| 11       | Вага установки, кг                  | 97                        |

У комплект обладнання для проведення борювання поверхонь, які зношуються, корпусу автозчеплення з нагріванням ТВЧ входять: генератор струму високої частоти; індуктори з мідної трубки квадратного перерізу з магнітопроводом для нагрівання ТВЧ плоских поверхонь різної площі та конфігурації; скануючий механічний пристрій; система автоматичного управління становищем та рухом індуктора; прилади для контролю

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 73   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

температури. Перед проведенням індукційного нагрівання, наприклад, тягової поверхні великого зуба автозчеплення, здійснюють тестове сканування робочої поверхні визначення геометрії робочої поверхні. Результати сканування передаються в систему автоматичного керування для побудови траєкторії тривимірного руху індуктора над робочими тяговими та ударними поверхнями великого та малого зубів корпусу автозчеплення.

Розглянуте обладнання дозволяє досягти необхідного закріплення корпусу з подальшою термічною обробкою зношених поверхонь, правильного розподілу сили струму, необхідного для формування зміцненого шару.

### 3.3 Підготовка насичувальних та захисних сумішей

Для зміцнення відновлених поверхонь великого та малого зубів корпусу автозчеплення в даній роботі рекомендовані суміші на основі карбіду бору та полібориду магнію:

- 1) 54%  $B_4C$ , 15%  $Al_2O_3$ , 15%  $SiO_2$ , 15%  $Na_2B_4O_7$ , 0,5%  $Na_3AlF_6$ ;
- 2) 62,5%  $MgB_{12}$ , 20%  $Al_2O_3$ , 15%  $Na_2B_4O_7$ , 2,5%  $Na_3AlF_6$ .

Компоненти сумішей використовуються для технічної чистоти без кристалізаційної води. При придбанні компонентів із кристалізаційною водою (наприклад,  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ) її видаляють шляхом переплавлення при температурі 800 – 850°C у керамічних тиглях. Гігроскопічну вологу видаляють сушінням при температурі 80°C. Кількість суміші, необхідне нанесення на оброблювану тягову поверхню зуба автозчеплення шаром 10 мм становить 1,5 кг. Розрахунок вартості сумішей подано у таблиці 3.4. Суміш на основі карбіду бору виявилася дешевшою за суміш з поліборидом магнію в 5,5 рази, тому найбільш доцільно для борування зношуваних поверхонь корпусу автозчеплення застосовувати саме її [18].

Для проведення процесу борування в даному випадку можуть бути використані інші більш дешеві насичувальні суміші, як на основі карбіду бору (наприклад, 60% $B_4C$ +20% $NaF$ +20% $NaCl$ ), так і без нього. Зокрема, може бути

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 74   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

використана суміш після алюмотермічного відновлення, що містить (% за масою): 22%  $B_2O_3$ +8% Al+ 69%  $Al_2O_3$ + 1% NaF. Дана суміш у 10 разів дешевше суміші з карбідом бору, але значно підвищує трудомісткість приготування суміші, що насичує. Це полягає в попередньому приготуванні вихідної суміші шляхом перемішування, відновлення бору з його окислу алюмінієм при нагріванні в герметичному контейнері з плавким затвором при 1000°C, дробленні суміші після охолодження, введенні порції активатора (NaF) і остаточного перемішування перед застосуванням. Крім трудомісткості з'являється необхідність використання печей, контейнерів та змішувачів, що значно підвищує вартість обробки в цілому та перевищує різницю у вартості сумішей [18].

Після зважування необхідної кількості компонентів суміші їх засипають у вибрану ємність і ретельно перемішують механічним шляхом протягом 0,5 год. Захисна суміш призначена для запобігання окисленню насичувальної обмазки та оброблюваних поверхонь, а також для запобігання відшарування обмазки при нагріванні ТВЧ. Склад суміші вибирається з поданих у таблиці 5.4. Компонентами сумішей є дрібні порошкові матеріали, що знаходяться в окисленій формі. З метою максимального захисту суміш можуть вводитися подрібнене деревне вугілля, порошки сполук у кількості 5 – 10% від маси суміші: феросиліцію, феромарганцю, карбиду кремнію і т.п. В роботі рекомендована захисна суміш на основі маршаліту (100%), замішана на воді або розчині клею БФ-2 в ацетоні [18].

Таблиця 5.4 – Розрахунок сумішей

| Компонент суміші | Вміст, % за масою |         |
|------------------|-------------------|---------|
|                  | Суміш 1           | Суміш 2 |
| $B_4C$           | 54                | –       |
| $Al_2O_3$        | 15                | 20      |
| $SiO_2$          | 15                | –       |
| $Na_2B_4O_7$     | 15                | 15      |
| $Na_3AlF_6$      | 0,5               | 2,5     |
| $MgB_{12}$       | –                 | 62,5    |

### 3.4 Приготування насичувальної та захисної обмазок

Перед приготуванням обмазування суміші знову перемішують. Після перемішування суміші до неї вводять розчин клею БФ-2 в ацетоні при співвідношенні 1:4 і знову перемішують протягом 5 хв до повного виключення грудок. Приготовлена суміш не повинна зберігатися більше 3 год.

Захисне обмазування на основі маршаліту замішують на воді або на розчині клею БФ-2 в співвідношенні ацетоні 1:4. Перемішування ведеться до виключення утворення грудок. У разі введення в її склад газоутворюючих складових (деревного вугілля) або поглиначів кисню (карбіду кремнію, феромарганцю) краще застосовувати як сполучний розчин клею БФ-2 в ацетоні.

Для виконання наступних операцій оброблювана поверхня корпусу автозчеплення повинна знаходитись у горизонтальному верхньому положенні. Корпус автозчеплення розміщують у маніпуляторі, за допомогою якого встановлюють тягову поверхню великого зуба горизонтально вгору.

### 3.5 Нанесення обмазок на тягову поверхню великого зуба, що обробляється

Отримана паста, що насичує, шпателем наноситься на оброблювану тягову поверхню великого зуба шаром 10 мм. Щоб уникнути стікання обмазки з поверхні, можливе тимчасове розміщення обмежувачів з металу, картону тощо. Далі паста піддається сушінню під потоком теплого повітря за 80°C до отримання компактного матеріалу. Поверх насичувальної обмазки (компактного матеріалу) шпателем наносять захисну обмазку на основі маршаліту замішеного на воді або на розчині клею БФ-2 в ацетоні, шаром 2 – 3 мм і піддають подальшому сушінню при 80°C. Після сушіння протягом 2 годин оброблювана поверхня готова до проведення процесу борування. При нанесенні захисної обмазки особливу увагу слід приділяти краям насичувальної обмазки, захист яких не тільки оберігає від окислення обмазку

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 76   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

і оброблювану поверхню при нагріванні ТВЧ, але й забезпечує надійний контакт насичувальної обмазки та оброблюваної поверхні, тобто оберігає насичувальну обмазку від відшаровування при нагріванні. Наступним етапом йде нагрівання поверхні з нанесеною обмазкою.

### 3.6 Нагрів ТВЧ та проведення процесу борування

Після тестового сканування оброблюваної поверхні індуктор розміщують над тяговою поверхнею великого зуба корпусу автозчеплення з обмазкою, включають подачу високочастотного струму і привід сканування привід. Індуктор здійснює нагрівання поверхні струмами високої частоти і переміщається з постійною швидкістю, у напрямку трьох координат, що задається системою автоматичного управління, з дотриманням постійної відстані над поверхнею, що обробляється. Температура оброблюваної поверхні автоматично підтримується на рівні 1120 – 1125 °С. Так як нагрівання насичувальної обмазки (компактного матеріалу) здійснюється від поверхні, що обробляється, то її температура буде значно нижче (~1000°C). Тривалість обробки визначається відповідно до необхідної товщини борованого шару і знаходиться в межах 5 – 30 хв. Рекомендована товщина шару становить 2,5 – 3 мм.

Після закінчення витримки припиняють подачу високочастотного струму, а оброблена поверхня охолоджується на повітрі. З метою економії часу після 15 хв охолодження на повітрі оброблена поверхня може охолоджуватись під водяним душем.

### 3.7 Очищення тягової поверхні великого зуба та контроль результатів обробки

Після повного охолодження обробленої поверхні насичувальну обмазку разом із захисною відокремлюють від неї металевою щіткою.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 77   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

Повторного використання обмазки як насичує не передбачається. Однак після сушіння та подрібнення вона може бути використана як вихідний матеріал захисної обмазки в новому процесі борування. Повторне використання відходів обмазок значно підвищить ефективність процесу борування поверхонь, що зношуються корпусу автозчеплення.

Після видалення обмазок з тягової поверхні та протирання її вологою ганчіркою, а потім промасленої, вона повинна мати сірий або темно-сірий колір. Чорний колір свідчить про одночасне перебіг процесу борування та окислення. Контроль твердості проводиться з використанням переносного твердоміра ТЕМП-2. Твердість поверхні має бути понад 450 НВ. Детальні металографічні дослідження дозволили визначити найбільш прийнятну композиційну структуру шару для підвищення надійності і довговічності поверхонь корпусу автозчеплення, що зношуються (рисунок 3.4).

Твердість поверхневих ділянок композиційного шару може досягати 600 НВ і плавно знижуватися по товщині шару до твердості серцевини.

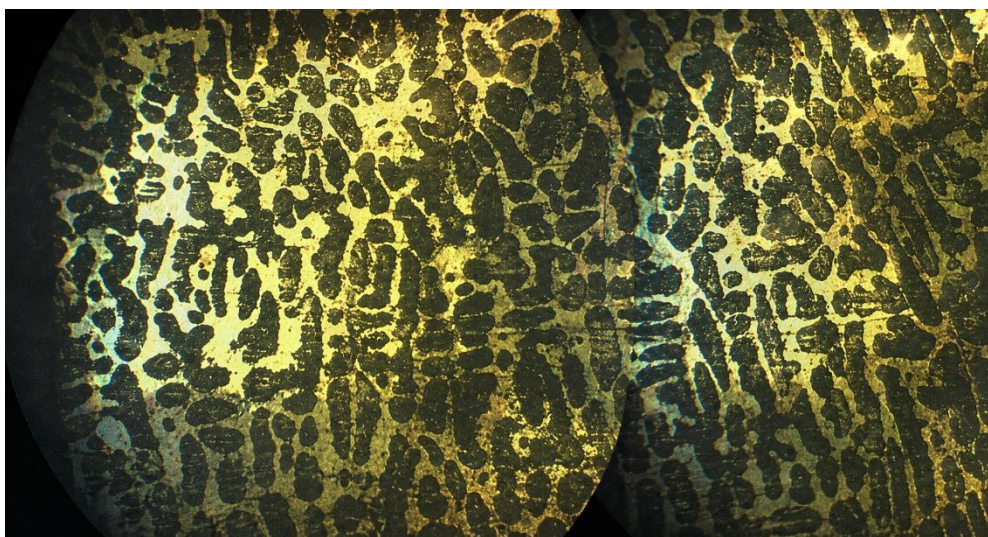


Рисунок 3.4 – Морфологія композиційного шару борованого для зміцнення тягової поверхні великого зуба



## ВИСНОВКИ

Виконане дослідження показало, що удосконалення технології ремонту шляхом застосування процесу борування з обмазок з нагріванням ТВЧ для підвищення надійності та довговічності роботи поверхонь контуру зачеплення відновлених наплавленням корпусів автозчепних пристроїв вантажних вагонів має високу ефективність. Успішне вирішення поставлених завдань забезпечили такі позиції:

1. Аналіз умов роботи та технологій відновлення поверхонь зачеплення корпусу автозчеплення показав наявність суттєвих недоліків наплавлених шарів, таких як: газові та шлакові раковини, залишкові напруги розтягування, тендітна дендритна структура наплавленого шару та крихка видманштетова структура зони термічного впливу, які знижують вагонів.

2. Сформульовано умови вдосконалення технології ремонту з метою виправлення дефектів наплавленого шару, підвищення надійності та довговічності відновлених поверхонь контуру зачеплення корпусів автозчеплень вантажних вагонів. Рекомендується застосування процесу борування з обмазок із нагріванням ТВЧ.

3. Проведений аналіз можливих способів термічної та хіміко-термічної обробки показав, що процес борування з обмазок з ТВЧ дозволяє отримати необхідну структуру поверхні.

4. Проведено адаптацію процесу борування стосовно технології зміцнення відновлених зварюванням зношених поверхонь корпусів автозчеплення вантажних вагонів. Розроблено технологічний процес отримання композиційних борованих шарів з нагріванням ТВЧ, що забезпечує при виконанні всіх операцій стабільні та добре відтворювані результати обробки.

5. Проведено дослідження властивостей зразків після відновлення наплавкою та зміцнення, яке показало, що борування сталі 20Г1ФЛ не впливає на її механічні властивості при композиційній структурі борованих шарів, при

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 79   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

цьому її зносостійкість ставати вище в 6 разів порівняно із загартованим і відпущеним станом на однакову твердість  $\sim$  ; борування плоских поверхонь зачеплення корпусу автозчеплення, виготовленого зі сталі 20Г1ФЛ, слід проводити при частоті струму, що дорівнює 15 кГц з використанням індукторів з магнітопроводом, що забезпечує підвищення ККД індукторів до 75%.

6. Перспективою розробки теми є більш глибоке дослідження впливу компонентів та їх концентрацій у насичувальних та захисних сумішах, температури нагріву, частоти струму та інших параметрів у дослідно-виробничих умовах роботи поверхонь контуру зачеплення автозчеплень, що у результаті дозволить найбільш точно спрогнозувати їхню надійність.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-220.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 80   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

## ЛІТЕРАТУРА

1. Лукін, В.В. Загальний курс: Підручник для вузів ж.-д. трансп. / В.В. Лукина: Маршрут, 2004. - 424 с.
2. Коломійченко, В.В. Автозчіпний пристрій залізничного рухомого складу / В. В. Коломійченко, Н. А. Костіна, В. Д. Прохоренков, В. І. Беляєв. - Транспорт, 1991. - 232 с.
3. Биков, Б.В. Конструкція та ремонт автозчіпного пристрою рухомого складу залізниць / Б.В. Биков. - Москва: Маршрут, 2005. - 48 с.
4. Мотовілов, К.В. Автозчеплення вагонів. Конструкція, експлуатація та ремонт / К.В. Мотовилів, 2003. - 93 с.
5. Дроздов, Ю.М. Тертя та знос в екстремальних умовах. / Ю.М. Дроздов, В.Г. Павлов, В.М. Пучків: Машинобудування, 1986. - 224 с.
6. Крукович, М.Г. Трибологічні матеріали / М.Г. Крукович, Е.Р. Тоне, 2007. - 104 с.
7. Мінкевич, О.М. Хіміко-термічна обробка металів та сплавів / О.М. Мінкевич: Машинобудування, 1965. - 491 с.
8. Мінкевич, О.М. Структура та фазовий склад дифузійного шару при ціануванні сталі / О.М. Мінкевич, Л.М. Расторгуєв, В.І. Андрюшечкін - Изв. ВУЗ «Чорна металургія», 1960. - № 7. - С. 171-179.
9. Шаля, М.А. Антифрикційні властивості сульфокіанованих сталей/М.А. Шаля, Г.К. Бордюг - МіТОМ, 1968. - № 7. - С. 36-37.
10. Кідін, І.М. Азотування сталей при пічному та електронагріві І.М. Кідін, В.І. Андрюшечкін - МіТОМ, 1964. - № 3. - С. 53-57.
11. Андрюшечкін, В.І. Борірування сталі 38ХНМ із застосуванням нагріву ТВЧ. / В.І. Андрюшечкін, А.І. Баштов. - МіТОМ., 1981. - №4. - С. 23-25.
12. Ляхович, Л.С. Прогресивний метод борування інструменту та технологічного оснащення з використанням паст / Л.С. Ляхович, М.Г. Крукович, Ю.В. Турів. - Експрес інформація. «Металообробка». - 1977. - 32 с.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 81   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |

13. Ворошнін, Л.Г. Борірування сталі. / Л.Г. Ворошнін, Л.С. Ляхович: Металургія, 1978. - 240 с.

14. Ворошнін, Л.Г. Борірування промислових сталей та чавунів. / Л.Г. Ворошнін, 1981. - 205 с.

15. Бельський, Є.І. Зміцнення литих та деформованих інструментальних сталей. / Є.І. Бельський, М.В. Сіткевич, Н.С. Траймак. - Мн.: Наука і техніка, 1982. - 280 с.

16. Бельський, Є.І. Хімічно-термічна обробка інструментальних матеріалів. / Є.І. Бельський, М.В. Сіткевич, Є.І. Понкратін, В.А. Стефанович. - Мн.: Наука і техніка, 1986. - 247 с.

17. Ляхович, Л.С. Хіміко-термічна обробка металів та сплавів. / Довідник. За ред. Л.С. Ляховича. - Москва: Металургія, 1981. - 424 с.

18. Ши Юонг Борування з паст у тліючий розряд високотемпературного плакуючого шару заліза / Ши Юонг, Сун Ікаї, Ю. Іонд, Юанг Лією. - Цзіньшу Жечулі, 1990. - № 11. - С. 35-37.

19. Ткачов, В.М. Мікроструктура та властивості боридних шарів, що утворюються при індукційному нагріванні сталі/В.М. Ткачов, Б.М. Поляков, В.І. Сидельнікова. - МІТОМ, 1979. - № 1. - С. 2-5.

20. Крукович, М.Г. Пластичність борованих шарів/М.Г. Крукович, Б.А. Прусаков, І.Г. Сізов: Фізматліт, 2010. - 384 с.

|     |       |          |        |      |                  |      |
|-----|-------|----------|--------|------|------------------|------|
|     |       |          |        |      | РДБ.3Т-22д.02 ПЗ | Арк. |
|     |       |          |        |      |                  | 82   |
| Зм. | Арк.. | № докум. | Підпис | Дата |                  |      |