

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

БАКАЛЕЦЬ ДМИТРО ВІТАЛІЙОВИЧ



УДК 629.3:669.539

**УДОСКОНАЛЕННЯ РЕМОНТУ РАМНИХ КОНСТРУКЦІЙ
ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ**

Спеціальність 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Київ – 2015

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі технології підвищення зносостійкості Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Савуляк Валерій Іванович,
Вінницький національний технічний університет,
завідувач кафедри технології підвищення
зносостійкості.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Посвятенко Едуард Карпович,
Національний транспортний університет,
професор кафедри виробництва, ремонту та
матеріалознавства;

кандидат технічних наук, доцент,
Титаренко Володимир Євгенійович,
Житомирський державний технологічний
університет, доцент кафедри автомобілі та
автомобільне господарство.

Захист відбудеться «16» грудня 2015 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.03 в Національному транспортному університеті за адресою: 01001, м. Київ, вул. Суворова, 1, ауд. 333.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. Кіквідзе, 42.

Автореферат розісланий « » листопада 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



С. В. Ковбасенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проблема надійності рамних конструкцій актуальна для всіх видів транспорту. В Україні ця проблема особливо гостра: вантажні автомобілі, спецтехніка та сільськогосподарські машини працюють у важких рельєфних і кліматичних умовах, на жорстких підвісках, їх основні елементи, що сприймають навантаження, переважно виготовляються із сталі.

Внаслідок цього на певних локальних ділянках рамних конструкцій виникають тріщини та інші пошкодження. Окрім того, не виключене пошкодження рам транспортних засобів внаслідок аварій та інших екстремальних впливів. Ці ділянки рам вимагають ремонту, який, переважно, виконується шляхом встановлення додаткових елементів підсилення приварюванням або зварюванням нових замість вирізаних.

Проблемою ремонту небезпечних зон рам шляхом встановлення елементів підсилення, а також відновлення таких зон із зародженими тріщинами, є небезпека пошкодження основного металу за рахунок негативних процесів, які можуть мати місце під час зварювання, як основного методу ремонту. До таких негативних факторів відносять потужні теплові поля від зварювальної дуги, напруження та деформації, що виникають при цьому тощо. Потужні теплові поля можуть викликати у зоні термічного впливу перерозподіл хімічних елементів та рекристалізацію матеріалу рамної конструкції. Тому дослідження в межах розв'язання означеної проблеми є актуальними. Розгляду цих актуальних проблем і присвячена дисертаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі технології підвищення зносостійкості Вінницького національного технічного університету. Тема роботи відповідає основним науковим напрямкам кафедри і є логічним продовженням робіт, виконаних за цією тематикою. Дослідження проводились відповідно до госпдоговору між приватним акціонерним товариством «Гніванський завод СЗБ» та Вінницьким національним технічним університетом «Модернізація корпусу кінцевого захвата (обойми) під клин шириною 90 мм та його випробування» (номер державної реєстрації 0114U004604) та держбюджетних тем: «Наукові засади та реалізація явища контактного плавлення в інженерії поверхні та синтезі нових матеріалів» (номер державної реєстрації 0107U002090), «Матеріалознавчі аспекти відновлення та підсилення несучих металоконструкцій шляхом приварювання додаткових елементів із спеціальним профілем та властивостями». (номер державної реєстрації 0113U003136), де автор був виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є збільшення терміну експлуатації рамних конструкцій засобів транспорту шляхом удосконалення технологічних процесів ремонту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- розробка методики локалізації розташування та розмірів ділянок рам транспортних засобів з високою ймовірністю виникнення тріщин;

- наукове обґрунтування методики визначення параметрів накладок для ремонту та відновлення рам;
- розробка та обґрунтування технології ремонту дефектів лонжеронів рам методами зварювання;
- дослідження процесів формування полів температур, напружень та деформацій у матеріалі рам від процесів зварювання та їх впливу на експлуатаційні властивості металу;
- дослідження можливості підвищення якості ремонту рам шляхом поєднання процесів зварювання та високотемпературного паяння;
- розробка практичних рекомендацій щодо складу та раціональних параметрів операцій ремонту рамних конструкцій засобів транспорту.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси ремонту рамних конструкцій засобів транспорту.

Предмет дослідження – склад та раціональні параметри операцій ремонту рамних конструкцій засобів транспорту.

Методи дослідження. Теоретичні розрахунки здійснювались з використанням сучасних теорій теплопередачі, термопружності, матеріалознавства, фізики твердого та деформівного тіла, а також математичного моделювання фізичних процесів, які мають місце під час експлуатації рам транспортних засобів. Експериментальні дослідження реальної динаміки навантаження рами автомобілів з гідроманіпулятором проводились в натурних умовах експлуатації. Визначення характеристик тріщиностійкості матеріалу рами проводились у лабораторних умовах на експериментальній установці з модулятором циклічних навантажень. Експерименти здійснювались з використанням сучасних вимірювальних засобів (осцилограф, оптичний мікроскоп МИМ-8, електронний мікроскоп РЕММА-106И, приладів та інструментів для реєстрації параметрів досліджуваних процесів (температури, геометрії, структури). Побудова математичної моделі та розрахунки проводились із застосуванням сучасного програмного забезпечення ("Mathcad", "КОМПАС", "Abaqus", "Ansys").

Наукова новизна одержаних у роботі результатів, які виносяться на захист:

- отримала подальший розвиток методика діагностування рами транспортного засобу, за якою на першому етапі моделюванням, з використанням кінцевоелементного аналізу та врахуванням умов експлуатації, локалізуються ділянки з напруженнями, які перевищують допустимі, а потім інструментальними засобами дефектування визначається наявність пошкоджень;
- вперше встановлено можливість зменшення величини та нерівномірності внутрішніх напружень та деформацій, що виникають в деталях рами під впливом операцій ремонту, шляхом раціонального вибору параметрів накладок для підсилення та режимів їх встановлення;
- вперше доведена можливість підвищення якості ремонту рам з використанням зварювання, як основного методу усунення пошкоджень,

шляхом його поєднання з високотемпературним паянням, яке використовує тепло процесу зварювання.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується достатнім обсягом експериментальних даних, отриманих з використанням комплексу сучасних методів досліджень, котрі є взаємодоповнюючими, статистичною обробкою даних, позитивних результатів стендових випробувань відремонтованих елементів і експлуатаційних випробувань відремонтованих рам засобів транспорту.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблена технологія пропонується для використання під час ремонту рам засобів транспорту (автомобілів, залізничної, сільськогосподарської та будівельно-дорожньої техніки, тощо), а також для підсилення рам з метою попередження руйнувань від додатково встановленого обладнання або від особливих факторів навантаження.

На основі проведених досліджень поставлено та розв'язано задачу ремонту поперечних тріщин рам засобів транспорту з урахуванням особливостей умов їх експлуатації.

Ремонт рам транспортної техніки за запропонованою технологією впровадили на підприємствах ДП «45 ЕМЗ» та МПП «РБД–7». Експлуатаційні випробування на автомобілях протягом 4-х років з пробігами більше 300 тис. км повторного руйнування не виявили.

Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі Вінницького національного технічного університету.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати досліджень за темою дисертаційної роботи здобувачем отримані самостійно. Роботи [12, 17] написані одноосібно. У роботах написаних у співавторстві особисто здобувачем розроблені алгоритми розрахунків та визначено НДС рам транспортних засобів [1, 10, 11]; експериментально та теоретично визначені поля температур, напружень і деформацій в матеріалі рам під час ремонтного зварювання [3, 4, 6, 13, 15, 16]; обґрунтовано технологію та визначено оптимальні параметри процесу приварювання ремонтних накладок на лонжерони рам транспортних машин [8, 14]; обґрунтовано доцільність ремонту рам транспортної техніки з лонжеронами, які мають пошкодження поперечними тріщинами, зварюванням з супутнім паянням [2, 5, 7, 9].

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати виконаних в дисертації досліджень доповідались та обговорювались на Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та аспірантів «Підвищення надійності машин і обладнання» (Кіровоград, 2008, 2009, 2012, 2013). Всеукраїнській науково-технічній конференції молодих учених та спеціалістів «Зварювання та споріднені технології» (Київ, 2009); XXI відкритій науково-технічній конференції молодих науковців і спеціалістів «Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи» (Львів, 2009); міжнародній науково-технічній конференції «Теоретичні і

прикладні задачі обробки матеріалів тиском та авто технічних експертиз» (Вінниця 2011); IV міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (Вінниця 2011); Міжнародній науково-технічній конференції «Університетська наука – 2012» (Маріуполь), III міжнародній науково-технічній конференції «Зварювальне виробництво в машинобудуванні: перспективи розвитку» (Краматорськ 2012); III міжнародній науково-практичній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» (Луцьк-Світязь 2014р.); науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів Вінницького національного технічного університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області (2008-2014);

В повному обсязі робота доповідалась та отримала позитивні відгуки на засіданнях науково-технічних семінарів у Вінницькому національному технічному університеті, Приазовському державному технічному університеті, Донбаській державній машинобудівній академії та Національному транспортному університеті.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 17 працях, з них: 6 статей у фахових виданнях України, в т.ч. 2 статті у виданнях, що включені до міжнародної наукометричної бази РИНЦ; одна стаття у закордонному періодичному виданні; матеріали 2-х міжнародних науково-технічних конференцій; 7 тез науково-технічних конференцій, отримано патент на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, переліку використаних літературних джерел із 127 найменувань та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 176 сторінок, в тому числі 135 сторінок основного тексту, 88 рисунків та 8 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі подано загальну характеристику роботи, показано зв'язок роботи з науковими планами і темами, обґрунтовано актуальність теми, визначено мету та задачі досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі розглянуті конструктивні особливості рам транспортних засобів та типи дефектів, які виникають в процесі експлуатації. Встановлено, що поперечні тріщини лонжеронів рам є найбільш небезпечними із дефектів, (в плані технології ремонту) і потребують наукового підходу. Проведено аналіз виконаних досліджень щодо використання різних підходів для ремонту дефектів рам та їх підсилення. Встановлено, що на теперішній час основним методом ремонту рам засобів транспорту є використання зварювання з встановленням плоских накладок. Разом з тим, використання зварювання, як основного методу ремонту, викликає пошкодження основного металу за рахунок потужних теплових полів від зварювальної дуги. В результаті

виникають напруження, деформації та структурно-фазові перетворення у матеріалі рамної конструкції, що стають причиною повторного руйнування відремонтованих ділянок.

Проблеми забезпечення міцності та довговічності відремонтованих або зміцнених рамних конструкцій, мінімізації негативного впливу процесу зварювання залишаються невирішеними і потребують додаткових наукових досліджень.

Другий розділ присвячений розробці загальної методики аналізу навантажень, які діють на конструкцію рам в процесі експлуатації, дослідженню напружено-деформованого стану небезпечних ділянок в процесі експлуатації і ремонту. Для цього побудовано алгоритм проведення розрахунків у середовищі програм кінцево-елементного аналізу.

Для експериментальних досліджень напрацювання відремонтованих елементів рам розроблено стенд для модельних випробувань ударно-втомної міцності (рис. 1). Для експериментального вимірювання показників деформації та температури в процесі зварювання розроблено комплекс відеоспостереження та цифрової обробки даних (рис. 2).



Рисунок 1 – Установка для випробування ударно-втомної міцності

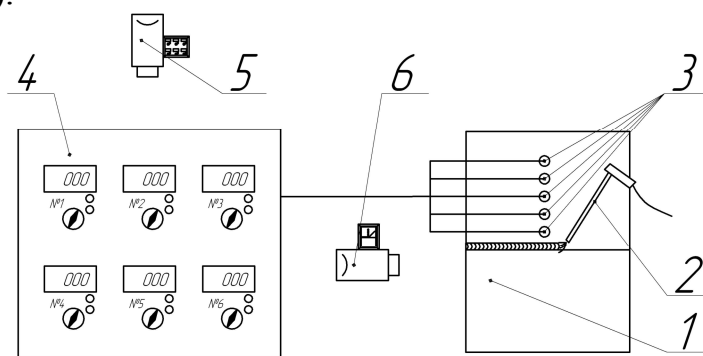


Рисунок 2 – Стенд для вимірювання температури деталі під час зварювання: 1 – деталь з накладкою, 2 – електрод; 3 – термопари, 4 – прилад для вимірювання температури, 5, 6 – відеокамера

Мікроструктурний аналіз проводився з використанням оптичної (МІМ-8М) та електронної (РЕММА-106І) мікроскопії. Це дало змогу більш детально та повно проаналізувати структуру зварних та зварено-паяних з'єднань і зони термічного впливу. Для виявлення макродефектів використовувався ультразвуковий дефектоскоп УД-12А та набір для капілярної дефектоскопії Sherwin. Мікротвердість структурних складових зварного з'єднання по глибині вимірювали на металографічних шліфах за допомогою мікротвердоміру ПМТ-3 відповідно до ГОСТ 9450-76.

Для визначення запасу міцності зварено-паяних з'єднань проведено випробування на зсув і позацентральный розтяг на розривній машині. Випробування на ударну в'язкість проводилися на маятниковому копрі моделі 2010 КМ - 30 з енергією удару 300 Дж.

Під час досліджень використовувався повнофакторний план експерименту. Отримані дані оброблялись статистично з використанням пакетів прикладних програм.

Третій розділ присвячено визначенню місця локалізації та дослідженню пошкоджених ділянок рам транспортних засобів. Для цього проведено систематизацію пошкоджень рам, що виникають в процесі експлуатації засобів транспорту, та запропоновано технологію виконання робіт з підготовки та проведення їх ремонту. Особливістю запропонованої технології є попередня локалізація ділянок з високою ймовірністю пошкодження, яка виконується з використанням комп'ютерного моделювання, що включає побудову моделі рами з фактичними навантаженнями, розрахунок її напружено-деформованого стану, визначення розмірів та форми накладок з врахуванням конфігурації полів напружень у матеріалі рами.

Для реалізації комплексного підходу до побудови моделі рами автомобіля з врахуванням усіх видів навантажень розглядалась конструкція автомобіля з встановленим гідроманіпулятором, який створює значні додаткові нормальні сили та крутні моменти. Визначення ділянок рами, на яких є висока ймовірність появи пошкоджень, виконувалось із застосуванням комп'ютерних моделей в середовищі кінцево-елементного аналізу та використанням експериментальних даних (рис. 3). Моделювання дало можливість поділити матеріал рами на зони за рівнем внутрішніх напружень (рис. 4): 1 – зони з напруженнями 0,5-0,8 від запасу міцності, які займають біля 21% від об'єму матеріалу рами; 2 – зони з навантаженнями, які близькі до граничних і займають біля 12%, в яких ймовірність виникнення тріщин найбільша. Інший об'єм 3 матеріалу рами мало навантажений та практично не пошкоджується.

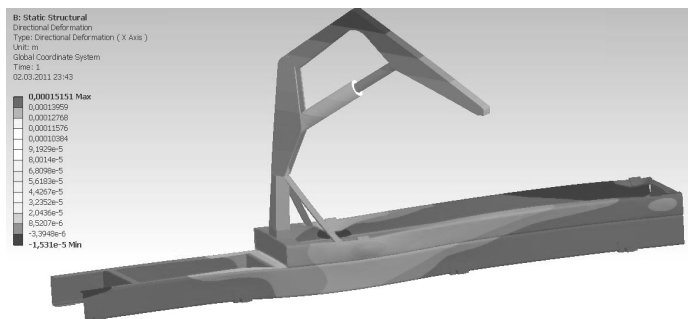


Рисунок 3 – Напружено-деформований стан рами з повним завантаженням кузова та стріли гідроманіпулятора

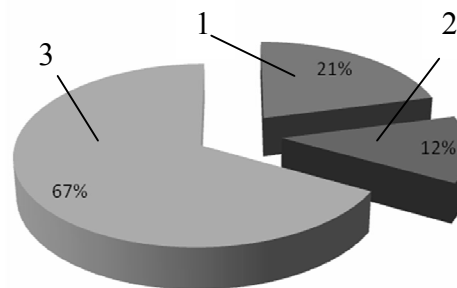


Рисунок 4 – Об'єми матеріалу рами автомобіля з різними рівнями напружень

Зони 1 та 2 пропонується дефектувати більш уважно з використанням додаткового обладнання. В зонах 3 матеріал рами практично не пошкоджується, оскільки не несе критичних навантажень, тому, на нашу думку, не потребує поглибленого дефектування.

Для подальших досліджень використана конструкція рами автомобіля великої вантажопідйомності з гідроманіпулятором, на лонжероні якого в процесі експлуатації утворились поперечні тріщини.

Для розробки якісного технологічного процесу ремонту, визначення режимів ремонту та необхідності встановлення елементів підсилення, досліджувались несприятливі фактори експлуатації, які призвели до

руйнування. Встановлено значний вплив на ушкоджені ділянки лонжерона рами схем переміщення вантажу гідроманіпулятором, який створює значні додаткові нормальні сили та крутні моменти. Одні і ті ж операції навантаження-розвантаження автомобіля можуть виконуватись по різних траєкторіях переміщення вантажу стрілою гідроманіпулятора, що дозволяє їх оптимізувати за критерієм мінімізації напружень та деформацій у небезпечних зонах.

Встановлено, що найбільші напруження та деформації рамної конструкції виникають у зонах примикання розкосів та у місцях накладання нормальних сил та крутильних моментів. На основі числових даних побудовані залежності деформацій та напружень (рис. 5а), які виникають в місцях $T_1 - T_4$, де згодом з'явилися тріщини, від кута повороту стріли гідроманіпулятора. Встановлено, що такі зони сприймають максимальні навантаження у випадку, коли підйом вантажу проводиться під кутом 30° відносно поперечної осі рами автомобіля (рис. 5).

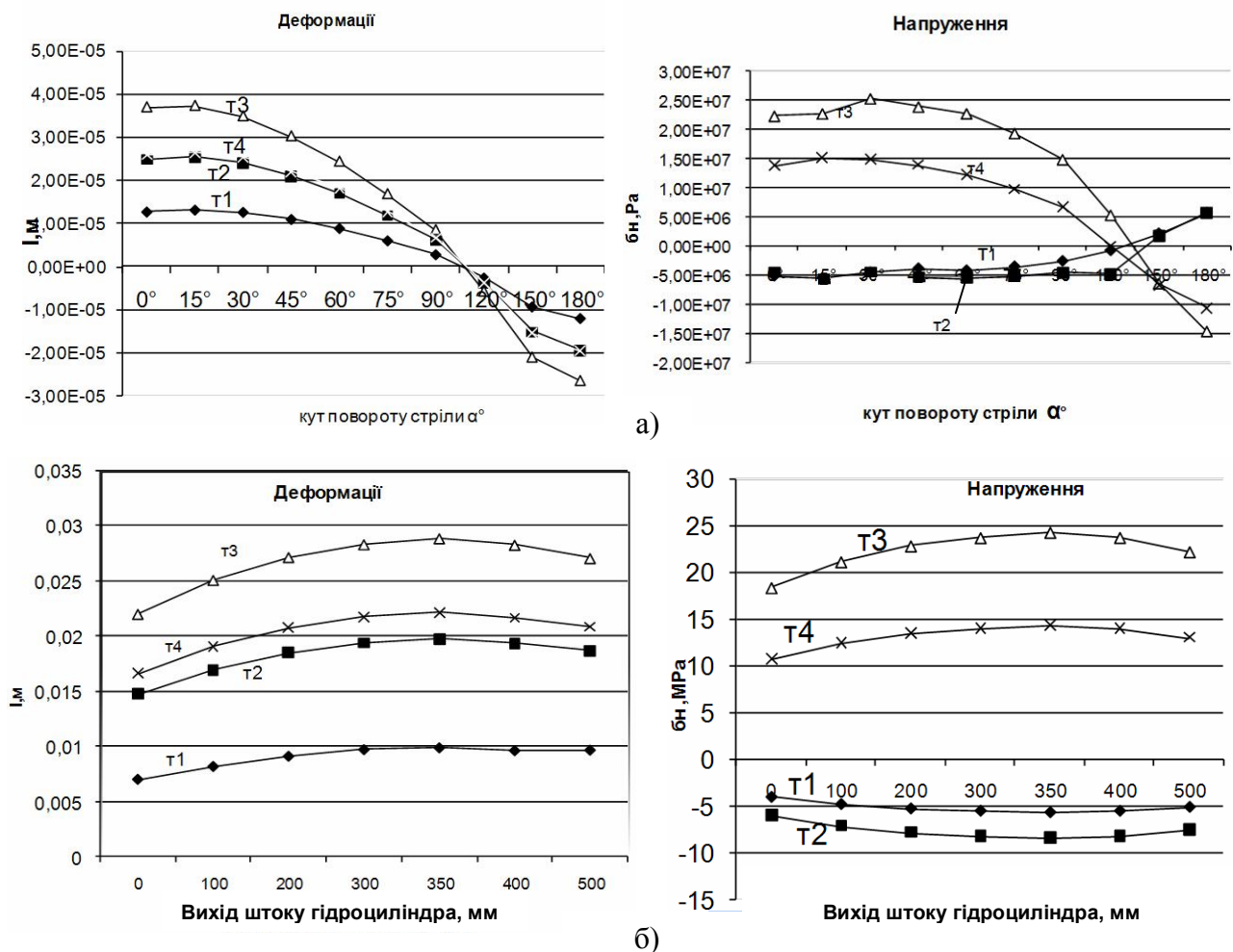


Рисунок 5 – Графіки залежності деформацій (зліва) та напружень (зправа) ділянок рами на трасі передбачуваної тріщини:

а) від кута повороту стріли; б) від положення штоку гідроциліндра

Після визначення найбільш несприятливого кутового положення стріли маніпулятора досліджувався вплив вертикального положення вантажу на

напружено-деформований стан рами, який виявився залежним від виходу штока гідроциліндра маніпулятора (рис. 5б).

Запропоновану модель доцільно використовувати для визначення раціональних режимів виконання навантажувально-розвантажувальних робіт на автотранспорті. Наприклад, для лісовозів з маніпулятором, за рахунок оптимальної схеми переміщення вантажу та розташування автомобіля, можна зменшити напруження в небезпечних ділянках рами на 10 % без втрати продуктивності.

Четвертий розділ присвячено визначенню розмірів та форми накладок для підсилення та раціональних параметрів процесів ремонту рам транспортних засобів. Визначення розмірів та форми накладок пропонується здійснювати по картині полів напружень на ушкодженій ділянці матеріалу рами (див. розділ 3). За конфігурацією полів напружень на поверхні рами виділяються зони з різними рівнями напруженості від максимального σ_1 до мінімального σ_n , де n – кількість рівнів. Форма накладки обирається так, щоб повністю перекривалися зони з небезпечними для виникнення тріщин напруженнями. На рис. 6 ці зони позначені σ_1 та σ_2 .



Рисунок 6 – Поля напружень на розгортці ділянки рами з встановленими підсилювальними накладками

Монтаж накладок здійснюється шляхом виконання зварних швів по їхньому контуру. Проблемою, що виникає після їх приварювання, є залишкові

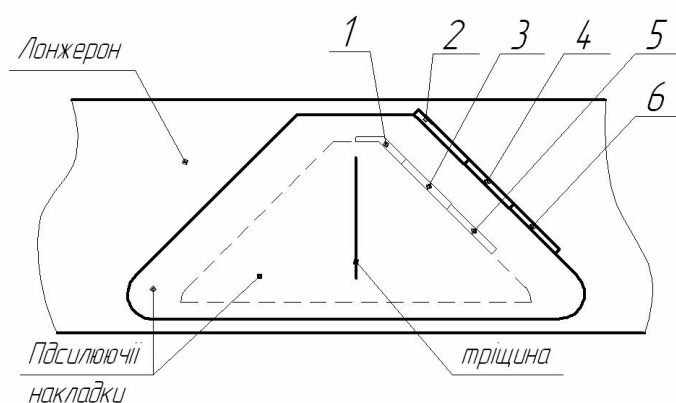


Рисунок 7 – Схема встановлення підсилюючих накладок: 1-6 – послідовність виконання зварних швів

напруження та структурно-фазові перетворення у зоні температурного впливу зварювальної дуги. Під час подальшої експлуатації вони можуть призвести до повторного руйнування відновленої ділянки. Тому було розроблено технологію приварювання накладок для підсилення методом покрокового накладання ділянок зварних швів з розрахованою довжиною (рис. 7), яка реалізує попередній та супутній підігрів і дозволяє

зменшити поточні напруження на 15% та деформації на 12%.

Одним із способів вирішення задачі зменшення температурних перепадів,

які формують локальні теплові напруження, що викликають загрозу мікротріщин, є вибір раціональної форми і розмірів підсилюючих елементів. Дослідження показали виникнення найбільшої концентрації напружень під час приварювання накладки у місцях, де її контур має кути, тому їх пропонується округлювати.

Використання плавних переходів (округлень) дозволяє забезпечити більш рівномірне розподілення напружень та деформації по об'єму конструкції рами, зменшуючи концентрацію напружень.

Для дослідження впливу режимів зварювання, як основної операції ремонту рам, встановлено параметри, які найбільше впливають на температурні поля та деформації в процесі приварювання підсилюючих елементів внапуск. Як варіативні прийняті такі параметри: швидкість зварювання $v_{зв.}$, напруга на дузі U , кут нахилу електроду a .

Розроблено математичну модель, яка описує вплив визначених параметрів ($v_{зв.}$, U , a) на температуру та деформації (t , Δ) матеріалу рами. Для вирішення використано метод планування та постановки повнофакторного експерименту і отримано рівняння регресії

$$y_a = -12,104 + 98,596 \cdot x_2 + 23,523 \cdot x_3 + 13,884 \cdot x_1 \cdot x_3 + 28,643 \cdot x_2 \cdot x_3 + 90,02 \cdot x_3^2, \quad (1)$$

$$y_z = 0,537 + 0,095 \cdot x_1 + 0,017 \cdot x_3 + 0,0075 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0,199 \cdot x_3^2. \quad (2)$$

Шляхом використання отриманих математичних моделей (1, 2) можна розв'язувати ряд задач визначення раціональних параметрів ремонту рами шляхом приварювання накладок за критерієм, наприклад, мінімальних деформацій.

За отриманими моделями, при фіксації одного із параметрів процесу приварювання елементів підсилення, побудовано поверхні відгуків, що показують вплив інших параметрів на температуру та деформації, спричинені горінням зварювальної дуги.

Встановлено, що можна зменшити негативний тепловий вплив на матеріал рами шляхом вибору раціональних режимів, які необхідно обирати з областей значень параметрів $v_{зв.}$, U , a . За цими результатами для кожного окремого випадку можна отримати рекомендації по параметрах технологічного процесу зварювання.

В процесі зварювання одним із основних факторів, що має значний вплив на якість проведення ремонтних робіт, є техніка виконання, а саме – положення електрода відносно деталі, яке визначається кутом до осі шва β та кутом α в площині, перпендикулярній до осі шва, значення якого можуть коливатись в межах 30-60° (рис. 8).

Розглядались дві найбільш поширені схеми приварювання елементів підсилення: до плоскої ділянки на рамі та до поверхні стінки профілю (в нашому випадку швелера).

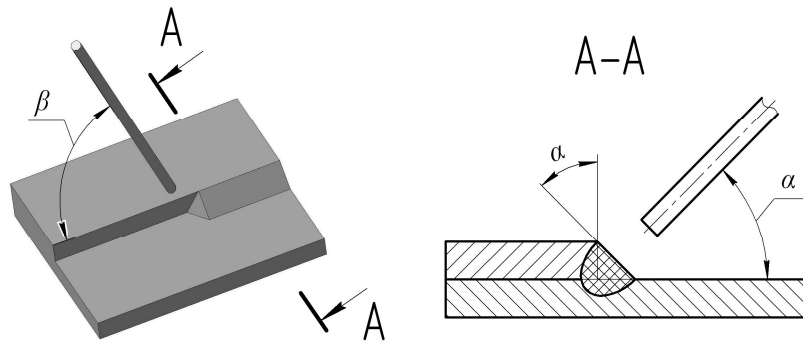
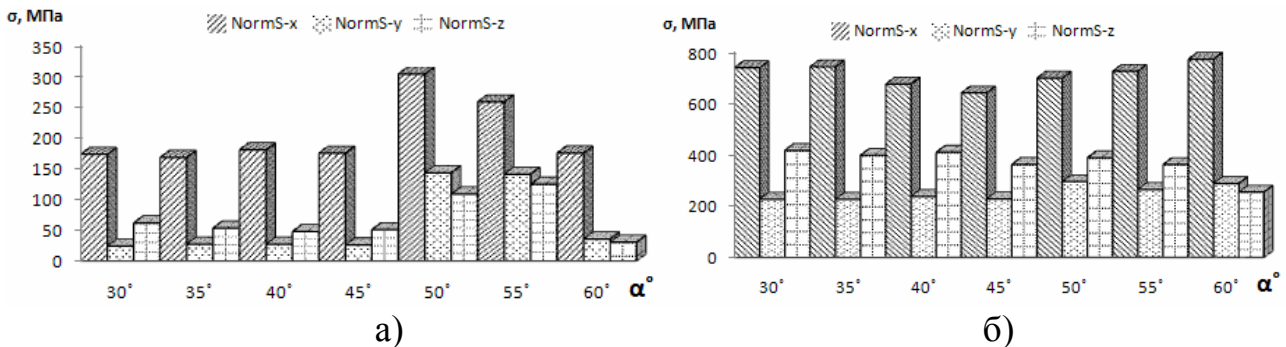


Рисунок 8 – Кути, що визначають положення електрода в просторі

Аналіз впливу кута нахилу електрода під час зварювання проводився за наступними критеріями: піками напружень та деформацій, які виникають в конструкції; сумарними деформаціями; закономірностями поширення деформацій. Вимірювання напружень та деформацій (рис. 9, 10) проводилось у трьох взаємноперпендикулярних напрямках (вертикальному Z , горизонтально-поздовжньому X та горизонтально-поперечному Y відносно деталі).

Встановлено, що зі збільшенням кута нахилу електрода α більше 45° під час приварювання підсилюючої накладки до плоскої ділянки на рамі, розтягуювальні напруження, які, у переважній більшості, стають основною причиною утворення тріщин, у конструкції значно зростають (рис. 9а).

Рисунок 9 – Піки поточних напружень розтягу по осях x , y , z при приварюванні підсилюючої накладки: а) до плоских ділянок на рамі; б) до профільованих ділянок на рамі

У випадку приварювання елементів підсилення до поверхні профільованих ділянок рами, їх напружено-деформований стан суттєво змінюється за рахунок збільшення їх жорсткості та конфігурації площ теплообміну. Напруження розтягу мінімальні, коли кут нахилу електрода становить 45° (рис. 9б), тобто тепловий потік рівно розподіляється в матеріал накладки і рами. Із зміною кута до граничних значень (30° або 60°) напруження розтягу в рамі збільшуються.

Поточні деформації плоских і профільованих ділянок на рамі в залежності від кута нахилу електрода під час приварювання накладок для підсилення зображено на рис. 10. Встановлено, що для зменшення деформації плоских ділянок кут нахилу електрода необхідно забезпечувати на рівні 45° (рис. 10а), а профільованих – до 60° (рис. 10б). За результатами аналізу полів напружень та деформацій слід рекомендувати кут нахилу електрода під час зварювання

плоских ділянок рам біля 45° , що дозволяє зменшити максимальні напруження на 32 % та деформації на 26 %. Кут нахилу електроду під час зварювання профільованих ділянок пропонується обирати в межах $45^\circ - 60^\circ$ в залежності від пріоритету мінімізації напружень чи деформацій.

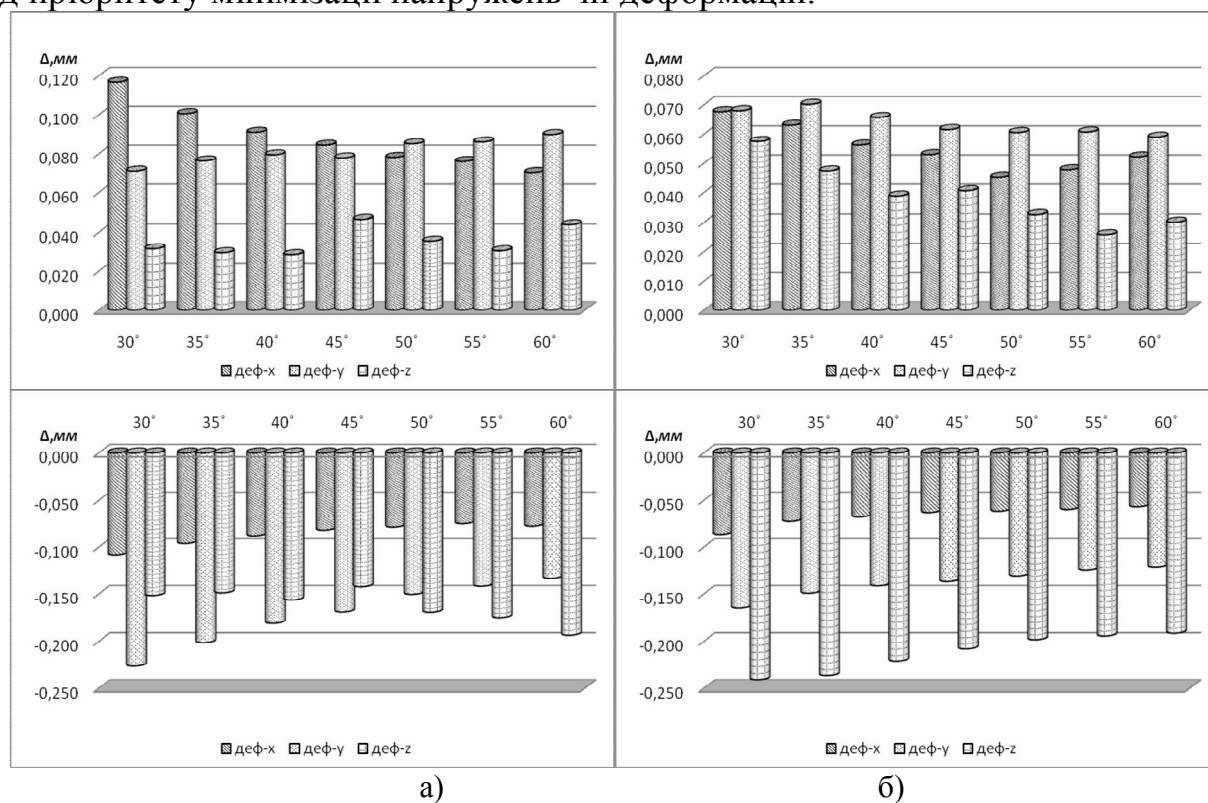


Рисунок 10 – Піки поточних деформацій в залежності від кута нахилу електроду під час приварювання накладок для підсилення:

а) на плоскі ділянки рами; б) на профільовані ділянки рами

П'ятий розділ присвячений вивченню та дослідженню можливостей поєднання процесів зварювання та паяння для ремонту рам засобів транспорту. В попередніх розділах встановлено, що підсилення та ремонт зон рам з зародженими тріщинами можливе шляхом встановлення (приварювання) додаткових елементів. Така технологічна схема ремонту забезпечує необхідні характеристики міцності, але її недоліком є ослаблення металу в зоні температурного впливу та зменшення у цій зоні корозійної стійкості. Дані недоліки можна усунути шляхом використання технології, яка поєднує процеси зварювання та паяння. Технологія передбачає використання припоїв з необхідною температурою плавлення для підвищення міцності зварних з'єднань внапуск, а також підвищення корозійної стійкості навколошовної зони. Особливістю є те, що припій встановлюється між основними елементами, які зварюються, та розплавляється за рахунок тепла, що виділяється в процесі зварювання (рис. 11).

Необхідною умовою реалізації описаного вище способу є обґрунтований вибір та розрахунок параметрів процесу зварювання-паяння, при яких відбудеться повне розплавлення припою, і утворюватиметься якісне з'єднання деталей.

Для цього необхідно визначити: режими зварювання, враховуючи товщину профілю рами в зоні приварювання h_0 та накладки h_n ; склад паяльного матеріалу; товщину h_p та ширину b смужки припою; її віддаль від зварного шва a в залежності від глибини проплавлення та геометрії шва в поперечному перетині. Допустимий зазор між деталями регламентується ГОСТ 5264-80 залежить від товщини деталей і може становити до 2 мм, чого достатньо для встановлення паяльного матеріалу.

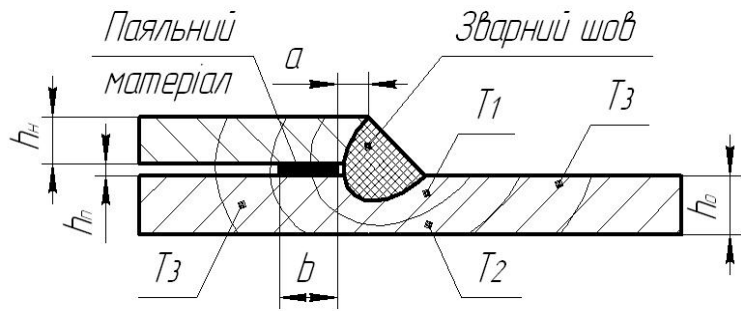


Рисунок 11 – Спосіб зварювання внапуск

Визначення можливих режимів комбінованого зварювання проводили методом моделювання процесу із використанням спеціалізованого програмного забезпечення на основі кінцевоелементного аналізу.

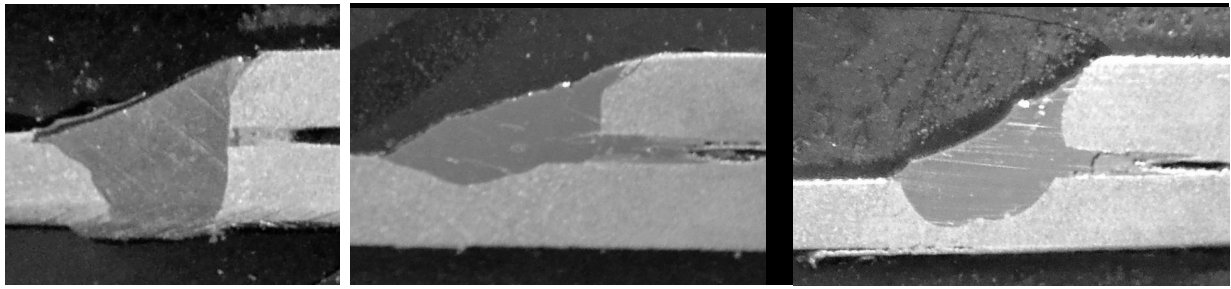
Для випадку приварювання накладки товщиною $h_n=5$ мм в таблиці 1 наведені дані щодо вибору ширини смужки припою на основі міді в залежності від кута нахилу електрода та товщини стінки рамної конструкції. Товщина смужки припою фіксована і становить $h_p=1$ мм, потужність зварювання 37 Вт/мм^2 . Зварювання проводити електродом діаметром 4 мм на постійному струмі прямої полярності.

Таблиця 1 – Ширини смужки припою з $T_{пл}=600$ °C

Кут α°	Товщина стінки лонжерона рами, мм						
	5	6	7	8	9	10	12
	Ширини смужки припою з $T_{пл}=600$ °C, мм						
30°	9,2	7,1	6,7	6,2	5,7	5,2	5,1
35°	9,5	7,6	6,9	6,3	5,8	5,2	5,1
40°	10	8,4	7,2	6,4	6	5,3	5,1
45°	10,5	9	7,6	6,8	6,3	5,4	5,1
50°	11	9,7	8	7,3	6,6	5,5	5,2
55°	12	10,3	8,9	7,9	6	5,7	5,2
60°	13	12	10	8,5	7,6	6	5,2

Коректність результатів за розрахунками по моделі підтверджується якісними зварено-паяними з'єднаннями, отриманими при різних положеннях електрода під час зварювання (рис. 12). У всіх випадках припой повністю розплавився, заповнивши проміжок між пластинами від зварного шва.

Мікроструктурний аналіз зони сплавлення між сталлю і припоєм показав наявність чіткої границі без включень і несплавлень. У деяких випадках виявлено взаємопроникнення металу зварного шва і припою (рис. 13 а). Проте таке перемішування локальне, не поширюється у глиб зварного шва і тому не впливає на механічні властивості з'єднання. Інший край припою (рис. 13 б) за рахунок високої рідкотекучості та сил поверхневого натягу розтікається на певну відстань по поверхні сталі, забезпечуючи її додатковий корозійний захист.



а)

б)

в)

Рисунок 12 – Макрошліфи паяно-зварних з'єднань, зварених з різним кутом нахилу електрода: а) 60^0 ; б) 30^0 ; в) 45^0



а)

б)

Рисунок 13 – Границі сплавлення між сталлю і міддю:
а) із сторони зварного шва; б) із протилежної сторони від зварного шва

Для визначення запасу міцності зразків, заварених за описаною вище технологією, нами проведено ряд випробувань на зсув і позакентровий розтяг (рис. 14).

В результаті випробувань на зсув (рис. 14а) встановлено, що руйнування усіх зразків відбувалось поза зварним швом та місцем запаювання у зоні температурного впливу. Випробуваннями на позакентральний розтяг (рис. 14б) виявлено, що руйнування місця запаювання носить в'язкий характер, поверхня зламу криволінійна та в деяких випадках проходить по основному металу деталі без руйнування припою, що свідчить про високу міцність такого з'єднання.

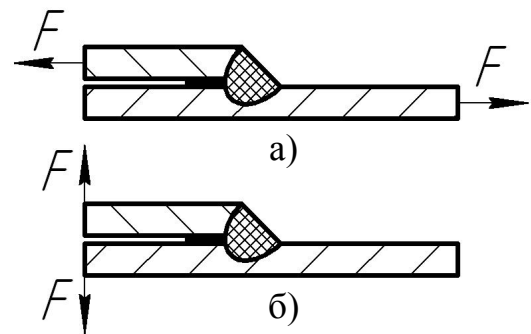


Рисунок 14 – Схеми випробувань:
а – зсув, б - позакентровий розтяг

Разом з тим, під час застосування для ремонту рам технології зварювання з супутнім паянням, не виключена можливість попадання мідного припою в зварний шов. Тому проведено дослідження впливу такої домішки в зварний шов на зміну механічних властивостей, зокрема показників ударної в'язкості з'єднання.

Домішки мідного припою вводили шляхом розміщення його у вигляді смужки між деталями, яка в процесі зварювання розчинялась у шві (рис.15). Кількість міді у зварному шві регламентувалась шириною пластинки припою і коливалась в межах до 4%.

Випробування на ударну в'язкість проводилися на маятниковому копрі. Визначення ударної в'язкості показало, що із збільшенням частки припою у зварному шві до 1,36% відбувається зменшення ударної в'язкості на 22%. Проте із подальшим збільшенням частки припою до 4% показники ударної в'язкості збільшуються до початкових значень. Отримані результати дозволяють рекомендувати застосування зварювання з супутнім паянням для ремонту рамних конструкцій засобів транспорту.

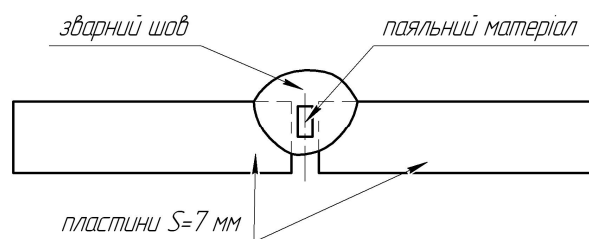


Рисунок 15 – Схема введення припою в зварний шов

Для перевірки ефективності застосування різних способів ремонту досліджувалось зміна ресурсу рамних конструкцій. Ушкоджені тріщинами рами умовно поділили на 2 групи. При ремонті першої групи рам 1-6 (рис.16) використали технологію заварювання тріщин з дотриманням описаних вище рекомендацій. Дефекти другої 7-12 усували за відомою технологією з приварюванням трикутної накладки по контуру. Крім того, для частини рам першої 1-3 і другої групи 7-9 використовували технологію зварювання з супутнім паянням. Відремонтовані ділянки рамних конструкцій випробовували на стенді за методикою, описаною в розділі 2.

З діаграм видно суттєву перевагу нових ділянок рамних конструкцій 13, 14, 15 хоча їх випробовування, проводилось при більш інтенсивному режимі навантаження. Та, мабуть, при однаковому режимі випробування ця перевага виявилася б більш чіткою, як ми це помітили при розгляді результатів випробування на кручення. Разом з тим, на діаграмі добре виявляється перевага відремонтованих і зміцнених запаюванням ділянок 1, 2, 3 (у I групі) та 7, 8 і 9 (в II групі) у порівнянні з такими ж незміцненими ділянками 4, 5, 6 (у I групі) і 10, 11, 12 (у II групі).

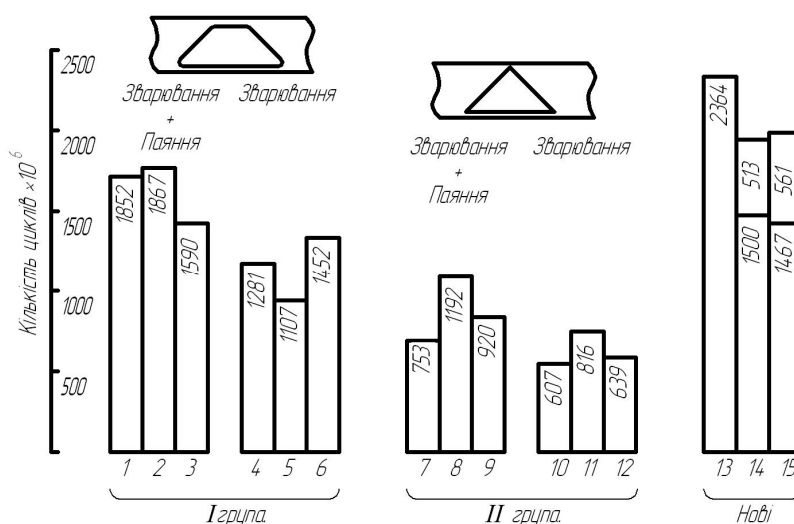


Рисунок 16 – Напрацювання нових та відремонтованих ділянок рамних конструкцій

В цілому отримані результати підтверджують можливість використання розглянутих технологій на ремонтних виробництвах, разом з тим вони показують, що зміцненням супутнім запаюванням можна істотно підвищити втомну міцність відремонтованих рам.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-технічну задачу збільшення терміну експлуатації рам засобів транспорту за рахунок вдосконалення технології їх ремонту та відновлення. Теоретичними і експериментальними дослідженнями отримані такі наукові результати:

1. Для виявлення розташування та розмірів ділянок рам автотранспорту, з напруженнями, що можуть викликати появу тріщин, доцільно використовувати метод кінцево-елементного аналізу. Встановлено, що об'єм матеріалу деталей, в яких виникають такі напруження, становить біля 12–14% від об'єму металу усієї конструкції рами.

2. На основі проведеного комплексного аналізу типової конструкції доведено можливість та доцільність ремонту рамних конструкцій транспортних засобів, пошкоджених наскрізними поперечними тріщинами.

3. Розроблено моделі у середовищі програм кінцево-елементного аналізу, що дають можливість чітко визначати найбільш раціональні параметри підсилюючих елементів. Для рамних конструкцій з лонжеронами швелерного типу доцільними є накладки у формі трапеції, які, по можливості, дублюються, причому обидві мають однакову конфігурацію, а розміри відрізняються на величину, що залежить від параметрів зон термічного впливу.

4. Експериментально та в середовищі програм кінцево-елементного аналізу досліджено теплові процеси ремонту рами та їх вплив на поточні напруження та деформації. Наведена методика мінімізації напружень та деформацій на етапах розробки технологічного процесу ремонтного зварювання. При проведенні перевірки адекватності результатів дослідження похибка складає менше 5%.

5. З використанням розробленої моделі у середовищі програм кінцево-елементного аналізу встановлено, що відстань між зварними швами накладок, що дублюються з обох сторін пошкодженої тріщинами деталі металоконструкції, повинна визначатись в залежності від режимів зварювання та параметрів рамних конструкцій транспортних засобів. Для дослідженої конструкції лонжерона рами з товщиною 8 мм рекомендується накладати паралельні шви на відстані 20 мм.

6. Дослідження теплових процесів встановлення накладок на ушкоджених ділянках рами показало концентрацію напружень біля гострих кутів елементів підсилення. Встановлено, що найбільш ефективними з точки зору формування напружень та досягнення максимальної надійності є накладки із округленням гострих кутів. Для досліджуваної конструкції необхідний радіус округлення становить 15-20 мм.

7. Використання методики мінімізації напружень та деформацій на етапах розробки технологічного процесу ремонтного зварювання, що передбачає приварювання накладок короткими швами у шаховому порядку, забезпечило зниження на 15% поточних напружень і на 12% деформацій.

8. Встановлено різний вплив техніки виконання швів, зокрема

просторового положення електрода під час приварювання елементів підсилення, на напружено-деформований стан рами в залежності від її профілю. Для рам з П-подібним профілем зменшення напружень та деформацій забезпечує зварювання з кутом нахилу електрода біля 60°.

9. Доведено можливість та доцільність поєднання процесів зварювання та паяння за рахунок тепла, що виділяється в процесі горіння дуги. Застосування такого зварювання з використанням припоїв на основі міді для проведення ремонту поперечних тріщин рам транспортної техніки, шляхом встановлення підсилюючих накладок, підвищує напрацювання конструкції на 15-20%.

10. Відновлювання та зміцнення рам шляхом використання зварювання з одночасним паянням за рахунок тепла процесу зварювання з використанням припоїв на основі міді окрім підвищення характеристик міцності такого з'єднання забезпечує корозійний захист зони термічного впливу.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті в наукових фахових виданнях

1. Савуляк В. І. Вплив гідроманіпулятора мобільної машини на формування тріщинонебезпечних зон несучої конструкції / В. І. Савуляк, Д. В. Бакалець // Промислова гідравліка і пневматика: Всеукраїнський науково-технічний журнал. – 2012. – №4 (34). – С. 36–41.

2. Савуляк В. І. Вплив заліковування тріщин мідними сплавами на міцність сталевих конструкцій / В. І. Савуляк, Д. В. Бакалець // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – №4. – С.172 –175.

3. Бакалець Д. В. Підвищення надійності та відновлення металоконструкцій транспортних та сільськогосподарських машин / Д. В. Бакалець, В. І. Савуляк, // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія Технічні науки. – 2012. – Випуск 11(66). – Т. 2. – С.302–306.

4. Поступайло О. В. Якісні характеристики зварювання рамно-оболонкових конструкцій / О. В. Поступайло, Д. В. Бакалець, В. І. Савуляк // «Наукові нотатки» міжвузівський збірник / випуск 41 частина 2 – Луцьк. – 2013 – с.121-126.

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав з напрямку

5. Savulyak V. I. Improvement of strengthening and repair of frame structures welding methods / V. I. Savulyak, S. A. Zabolotniy, D. V. Bakalets / Tehnomus «New Technologies and Products in Machine Manufacturing Technologies» jurnal / Romainia. – 2013. – №20. – S. 189-192.

Публікації у виданнях України, які включенні до міжнародних наукометричних баз

6. Савуляк В. І. Мінімізація деформацій та теплових впливів у рамних конструкціях під час приварювання накладок для підсилення / В. І. Савуляк,

С. А. Заболотний, Д. В. Бакалець // Наукові праці ВНТУ. – 2012. – № 4. – С.101 – 106.

7. Савуляк В. І. Поєднання зварювання та паяння для ремонту рам транспортних засобів / В. І. Савуляк, С. А. Заболотний, Д. В. Бакалець // Проблеми трибології. – 2014. – №3(73). – С17 – 21.

Патенти та заявки на винахід

8. Патент на корисну модель 83355 Україна, МПК В23Р 6/04 (2006.01), В23К 1/00. Спосіб ремонту поверхонь рам транспортної техніки та технологічних машин, що ушкоджені тріщинами / Савуляк В.І, Заболотний С.А, Бакалець Д.В. - № u 201300304 Заявл. 09.01.2013; Опубл. 10.09.2013. Бюл. № 17 - 3с.

Опубліковані праці апробаційного характеру

9. Філіпченко А. В. Застосування комбінованого зварювання для забезпечення міцності та надійності рамних конструкцій транспортних та технологічних машин / А. В. Філіпченко, Д. В. Бакалець, В. І. Савуляк // Збірник тез доповідей VII-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та аспірантів «Підвищення надійності машин і обладнання». – Кіровоград: КНТУ. – 2013 – С. 26–27.

10. Савуляк В. І. НДС рами мобільної машини з маніпулятором з врахуванням залишкових напружень і деформацій після виготовлення або відновлення / В. І. Савуляк, Д. В. Бакалець // Теоретичні і прикладні задачі обробки матеріалів тиском та автотехнічних експертиз. Збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця: ВНТУ. – 2011. – С. 181–182.

11. Савуляк В. І. Визначення тріщино-небезпечних зон рам мобільних машин та їх моніторинг під час експлуатації / В. І. Савуляк, Д. В. Бакалець // Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: IV міжнародна науково-практична конференція. – К., 2011. – С. 75.

12. Бакалець Д. В. Вплив режимів та технології приварювання підсилюючих накладок на міцність рамних конструкцій транспортних засобів / Д. В. Бакалець // международная научно-техническая конференция «Университетская наука – 2012»: сб. Тезисов докладов в 3-х томах. – Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ». – 2012. – Т.2 – С. 301

13. Савуляк В. І. Мінімізація деформацій та напружень в рамних конструкціях під час приварювання накладок для підсилення / В. І. Савуляк, Д. В. Бакалець // Сварочное производство в машиностроении: перспективы развития : материалы III международной научно-технической конференции / под общ. ред. Н.А. Макаренко. – Краматорск : ДГМА. – 2012. – С. 131.

14. Бакалець Д. В. Забезпечення міцності рамних конструкцій транспортних та технологічних машин приварюванням накладок для підсилення / Д. В. Бакалець, В. І. Савуляк // Збірник тез доповідей VI-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та аспірантів «Підвищення надійності машин і обладнання». – Кіровоград: КНТУ. – 2012 – С.

16–17.

15. Бакалець Д.В. Відновлення важко доступних поверхонь деталей машин екзотермічними методами [Електрон. ресурс] / Д. В. Бакалець, В. І. Савуляк // В зб.: «Тези доповідей за підсумками студентських, магістерських, аспірантських наукових досліджень та наукових досліджень викладачів на III Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції студентів та аспірантів «Підвищення надійності машин і обладнання». Збірник тез доповідей. – Кіровоград. – 2009. – С.20-22: <http://www.kntu.kr.ua/doc/nv.pdf>

16. Бакалець Д. В. Відновлення сталевих деталей з отворами [Електрон. ресурс]/ Д. В. Бакалець, В. І. Савуляк // В зб.: «Тези доповідей за підсумками студентських, магістерських, аспірантських наукових досліджень та наукових досліджень викладачів на II Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції «Підвищення надійності машин і обладнання». Збірник тез доповідей. – Кіровоград. – 2008 – С.8-10: http://www.kntu.kr.ua/doc/zb_2008.pdf

17. Бакалець Д. В. Використання екзотермічних процесів для відновлення пошкоджень у закритих порожнинах деталей машин та металоконструкцій / Д. В. Бакалець // Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи: матеріали відкритої науково-технічної конференції молодих науковців і спеціалістів фізико-механічного інституту. – Львів.– 2009. – С. 185-187.

АНОТАЦІЯ

Бакалець Д.В. Удосконалення ремонту рамних конструкцій засобів транспорту. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту, - Національний транспортний університет, Київ, 2015.

У дисертаційній роботі розв'язано актуальну науково-технічну задачу збільшення терміну експлуатації рам транспортних засобів за рахунок вдосконалення технології їх ремонту. Запропоновано використовувати кінцево-елементний аналіз для прогнозування розташування ділянок рам автотранспорту, з високою ймовірністю появи тріщин. Встановлено, що об'єм таких ділянок не перевищує третини матеріалу рамної конструкції. Проблемні ділянки можуть бути заздалегідь підсилені, а ушкоджені тріщинами відремонтовані з використанням зварювання. Розроблена методика дозволяє визначати раціональні форми накладок, склад і параметри виконання основних операцій ремонту. На основі експериментально-теоретичних досліджень побудовано поля температур, напруження та деформації, розроблено рекомендації щодо їх мінімізації шляхом оптимізації параметрів зварювання. Запропоноване приварювання накладок короткими швами у шаховому порядку знижує на 12 – 15% поточні напруження і деформації. Обґрунтовано доцільність поєднання процесів зварювання та паяння за рахунок тепла, що виділяється в процесі горіння дуги. Застосування такого зварювання з використанням припоїв на основі міді для проведення ремонту поперечних

тріщин рам транспортної техніки, шляхом встановлення підсилюючих накладок, підвищує напруження конструкції, міцність з'єднання та забезпечує корозійний захист зони термічного впливу. Тестові та експлуатаційні випробування показали ефективність запропонованих технологій.

Ключові слова: рамна конструкція, транспорт, тріщина, технологія, ремонт, підсилення, зварювання, паяння.

АННОТАЦИЯ

Бакалец Д.В. Совершенствование ремонта рамных конструкций транспортных средств. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – Эксплуатация и ремонт средств транспорта, – Национальный транспортный университет, Киев, 2015.

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача увеличения срока службы рам транспортных средств за счет совершенствования технологии их ремонта. Проведен анализ выполненных исследований по использованию различных подходов к ремонту дефектов рам и их усилению. Установлено, что в настоящее время основным методом ремонта рам транспортных средств является использование сварки с установкой плоских накладок. Вместе с тем, в результате такого ремонта возникают напряжения, деформации и структурно-фазовые превращения в материале рамной конструкции. Они становятся причиной повторного разрушения отремонтированных участков. В работе предложены новые подходы к решению проблем обеспечения прочности и долговечности отремонтированных или усиленных рамных конструкций.

Для прогнозирования местоположения участков рам автотранспорта, где высока вероятность появления трещин, предложено использовать конечно-элементный анализ. Установлено, что объем таких участков не превышает трети материала рамной конструкции и зависит от технологий и отдельных операций использования автомобилей. Использование предложенной в работе модели для определения напряжений и деформаций опасных участков конструкции с учетом эксплуатации автомобиля позволяет уменьшить их максимумы.

Проблемные участки могут быть заранее усиленные, а поврежденные трещинами – отремонтированы с использованием сварки. Разработанная методика позволяет определять рациональные формы накладок, состав и параметры выполнения основных операций ремонта.

На основе экспериментально-теоретических исследований построены поля температур, напряжений и деформаций, разработаны рекомендации по их минимизации путем оптимизации параметров сварки. Предложенная технология приваривания накладок короткими швами в шахматном порядке снижает на 12 - 15% текущие напряжения и деформации.

Установлено, что качество проведенных ремонтных работ зависит от техники сварки, в частности, от наклона электрода относительно сварного шва. Рассмотрены два наиболее распространенных случая приваривания элементов

усиления: к плоскому участку лонжерона рамы и к поверхности стенки швеллероподобного профиля. По результатам исследований построены графики, позволяющие назначить наклон электрода с позиций минимизации напряжений и деформаций.

Обоснована целесообразность сочетания процессов сварки и пайки за счет использования тепла, выделяемого в процессе горения дуги во время ремонта рам транспортного средства. При этом рассчитанное количество паяльного материала размещают между материалом рамы и накладкой так, чтобы обеспечить его полное расплавление в процессе сварки. Таким образом, в зоне у корня сварного шва формируется паяный участок, который увеличивает прочность соединения. Применение такой сварки с использованием припоев на основе меди для ремонта поперечных трещин рам транспортной техники, путем установки усиливающих накладок, повышает наработку конструкции на отказ и обеспечивает коррозионную защиту зоны термического влияния. Тестовые и эксплуатационные испытания показали эффективность предлагаемых технологий.

Ключевые слова: рамная конструкция, транспорт, трещина, технология, ремонт, усиление, сварка, пайка.

SUMMARY

Bakalets D.V. Improving repair welding frame structures. – Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.22.20 - Ekspluatatsiya and repair of Transport - National Transport University, Kyiv, 2015.

The dissertation is solved to date scientific and technical problem of increasing the frame-life vehicles by improving technology of repair. Proposed to use finite element analysis to predict the location of plots frames of vehicles, with a high probability of cracks. It was established that the volume of such sites is less than a third of the material frame construction. Problem areas can be enhanced in advance, and damaged by cracks repaired using welding. The method allows to determine rational forms overlays, composition and basic operation parameters of repair. It is appropriate to apply the pads in a form that should cover the areas of the frame with dangerous voltages, have no sharp edges. Developed sequence welding process and recommended the spatial position of the electrodes. Based on experimental and theoretical research is based temperature field, stress and strain, recommendations for their minimization by optimizing the welding parameters. The proposed short welding seams overlap staggered decreases by 12 - 15% of current stress and strain. The necessity of a combination of welding and soldering processes due to heat generated in the arc. The use of such welding using copper-based solders for repairing cracks transverse frames transport equipment by placing reinforcing pads, increases time between design, bond strength and provides corrosion protection heat affected zone. Test and performance tests have shown the effectiveness of the proposed technology.

Keywords: frame construction, transport, crack, technology, maintenance, enhancement, welding, soldering.

Підписано до друку 10.11.2015 р. Формат 29,7×42 ¼.
Наклад 100 пр. Зам. № 2015-121.
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел. 59-81-59.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.