

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

ДИПЛОМНА РОБОТА
другого магістерського рівня

на тему: «Удосконалення ремонту рамних конструкцій транспортних засобів»

Виконав: студент 6 курсу групи Аін-61

Спеціальності 208 „Агроінженерія”
(шифр і назва)

Городиловський В.П.

(Прізвище та ініціали)

Керівник: Ковалишин С.Й.

(Прізвище та ініціали)

Рецензент: Швець О.П.

(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2024

УДК 621.433.052

Городиловський В. П. «Удосконалення ремонту рамних конструкцій транспортних засобів».

//Дипломна робота. – Дубляни: Львівський національний університет природокористування. 2024. – 69 с.

Шляхом проведеного комплексного аналізу подібних конструкцій доведено доцільність та можливість ремонту конструкцій рам транспортних засобів, які були пошкоджені поперечними наскрізними тріщинами.

В середовищі програм кінцево-елементного аналізу запропоновано модель, яка дає можливість ясно визначати найраціональніші параметри елементів підсилення. Для конструкцій рам з лонжеронами типу швелер бажаними є накладки трапецеподібної, причому обидві повинні мати однакову конфігурацію, а розміри відрізнятись на значення, яке залежатиме від параметрів місць термічного впливу.

Запропоновано методику зменшення напружень та деформації на кожному етапі розробки технологічного процесу відновлення зварюванням. Виявлено, що проміжок між зварювальними швами накладок, що є з обидвох сторін тріснутої деталі металевої конструкції, повинна визначатись залежно від режимів та параметрів зварювання і властивостей конструкцій рам транспортних засобів. Для запропонованої конструкції лонжерона рами, яка має товщину 8 мм, рекомендовано накладати паралельні зварювальні шви на відстані 20 мм. Цими діями можна забезпечити зниження на 12% деформацій та на 15% поточних напружень.

Таблиць 4; рисунків 18; бібліогр. джерел 42

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ З ПІДТРИМАННЯ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАДАНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАМНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ	10
1.1 Аналіз конструкцій рам засобів транспорту та їх характерних пошкоджень	10
1.2 Аналіз досліджень процесів руйнування конструкцій рам засобів транспорту.....	12
1.3 Аналіз методів ремонту та підсилення лонжеронів рамних конструкцій засобів транспорту	20
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	26
2.1 Матеріали для ремонту та підсилення конструкцій рам транспортних засобів	26
2.2 Алгоритм моделювання та досліджень рамних конструкцій у середовищі програм кінцево-елементного аналізу	31
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ РАМИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСІВ РЕМОНТУ РАМНИХ КОНСТРУКЦІЙ	35
3.1 Врахування фактичних навантажень та умов роботи на ділянках рамних конструкцій транспортних засобів з можливими ушкодженнями.....	36
3.2. Дослідження факторів впливу на технологію встановлення елементів підсилення рами.....	39

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	49
4.1. Підготовка до проведення робіт.....	51
4.2. Захист органів зору.....	50
4.3. Захист дихальних органів.....	51
4.4. Захист від опіків.....	51
4.5. Проектування логічно-імітаційної моделі виникнення травм в процесі відновлення рамних конструкцій.....	51
4.6. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	54
5. ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕМОНТУ РАМНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ.....	56
ВИСНОВКИ.....	64
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- НДС – напружено-деформований стан;
МСЕ – метод скінченних елементів;
ЕОМ – електронно-обчислювальна машина;
СВЧ – струми високої частоти;
ПК – персональний комп'ютер;
ППП - пакет прикладних програм;
КЕ – кінцеві елементи;
МКП – міжкристалітне проникнення;
ЗТВ – зона термічного впливу.

ВСТУП

Проблема надійності рамних конструкцій є актуальною для всіх видів транспорту. Особливо гостро це питання стоїть в Україні, де вантажні автомобілі, спецтехніка та сільськогосподарські машини експлуатуються в складних рельєфних і кліматичних умовах, часто на жорстких підвісках. Основні елементи цих конструкцій, які сприймають значні навантаження, переважно виготовляються зі сталі.

У транспортних засобах рама є основною збірною одиницею, яка визначає до 40% металомісткості автомобіля і значно впливає на тривалість його експлуатації. Ключовими факторами, що впливають на довговічність рам, є їх пошкодження тріщинами та корозією. Ігнорування цих факторів під час проєктування, виготовлення, технічного обслуговування та ремонту рамних конструкцій часто призводить до використання неефективних технологій, які не забезпечують необхідну надійність.

Для підвищення ефективності ремонтних процесів потрібна розробка удосконалених методів розрахунків, які враховують реальні умови експлуатації, технологію виготовлення, модернізації чи попереднього ремонту. Особливо це актуально для рам, виготовлених або відремонтованих із застосуванням зварювальних процесів, які змінюють структуру та фізико-механічні властивості матеріалу. На жаль, ці зміни недостатньо враховуються під час розробки технологій ремонту через брак досліджень, що нерідко призводить до непередбачуваних відмов у роботі рам.

У процесі експлуатації транспортних засобів під впливом статичних і динамічних навантажень на рамах утворюються тріщини та інші локальні пошкодження. Крім того, рами можуть зазнавати пошкоджень внаслідок аварій або екстремальних впливів. Для відновлення таких рам зазвичай застосовуються методи ремонту, які включають встановлення додаткових підсилюючих елементів шляхом приварювання або заміну пошкоджених ділянок на нові за допомогою зварювання.

Метою роботи було підвищення терміну експлуатації конструкцій рам засобів транспорту через удосконалення технологічних прийомів процесів

ремонту.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі **задачі**:

- обґрунтування методик визначення розмірів накладок для відновлення та ремонту рам;

- розроблення технологій ремонту і відновлення дефектів лонжеронів рам шляхом зварювання;

- дослідження процесів формування значень напружень, температур та деформацій в матеріалі рам від вибраних видів зварювання та їх дії на властивості металу;

- розроблення практичних рекомендацій щодо раціональних параметрів і складу операцій ремонту конструкцій рам засобів транспорту.

Об'єкт дослідження – процеси ремонту конструкцій рам засобів транспорту.

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

РОЗДІЛ 1

СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ З ПІДТРИМАННЯ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАДАНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАМНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

1.1 Аналіз конструкцій рам засобів транспорту та їх характерних пошкоджень

Через значне різноманіття транспортної техніки аналіз конструкцій несучих рам мобільних машин доцільно виконувати з урахуванням їх можливих типів виготовлення [1-3], таких як: лонжеронні, периферійні, хребтові, вильчато-хребтові, з несучою основою, решітчасті, а також інтегровані в кузов (Frame-in-body, UniFrame).

У вантажних автомобілях найбільш поширеними є лонжеронні рами, тоді як хребтові використовуються значно рідше [3]. Лонжеронна рама складається з двох поздовжніх балок (лонжеронів), з'єднаних поперечками. Залежно від типу автомобіля лонжерони можуть мати різне розташування:

- паралельне в горизонтальній площині,
- під кутом у горизонтальній площині,
- вигнуте у вертикальній площині,
- вигнуте в горизонтальній площині.

Паралельна схема є характерною для вантажних автомобілів, тоді як інші варіанти застосовуються переважно у позашляховиках та легкових автомобілях підвищеної прохідності [2].

Лонжерон – це металева балка відкритого або закритого поперечного перерізу (швелер, двотавр чи короб), яка забезпечує високу жорсткість на згин.

Хребтові та вильчато-хребтові конструкції найчастіше використовуються у комбайнах та інших машинах складної просторової форми.

Решітчасті рами знаходять застосування у виробництві кузовів автобусів, трамваїв, тролейбусів та інших подібних транспортних засобів.

На сьогоднішній день існує значне різноманіття лонжеронних рам драбинного типу, які характерні для автомобілів загального призначення та сидельних напівпричепів (рис. 1.1). Такі конструкції виконуються з тонкостінних стрижнів. Для

автомобілів вітчизняного виробництва характерні клепані рами, які складаються з двох поздовжніх балок швелерної форми зі змінним перетином. Вони виготовляються зі смугової низьколегованої сталі товщиною до 8 мм. Поздовжні балки виготовлені методом гарячого штампування, мають максимальну висоту перерізу 265 мм, а ширина полиць змінюється в межах 60–80 мм. Балки з'єднані поперечками за допомогою заклепок. На них також кріпляться елементи підвіски, опори двигуна, кріплення кабіни, рульового керування тощо.



Рисунок 1.1 – Типові рами:

а) сучасних вантажних автомобілів; б) сідельних напівпричепів

Рама сучасних автомобілів КрАЗ є просторовою конструкцією, що складається з двох поздовжніх лонжеронів, з'єднаних між собою п'ятьма поперечинами [4]. Лонжерони виготовляють із гарячекатаного швелера №30 зі сталі 15ХСНД. Поперечки рам автомобілів КрАЗ виконані методом штампування або штамповарювання із сталі 15 товщиною 8 мм, за винятком п'ятої поперечки автомобіля КрАЗ-255Б, яка виготовлена з швелера Л30 (матеріал – сталь 15ХСНД).

Рами сідельних напівпричепів і більшості сучасних вантажних автомобілів виконуються як суцільнозварні конструкції, які можуть мати різноманітні форми та розміри (рис. 1.1) [1]. Рама напівпричепа складається з двох довгих вигнутих лонжеронів у вигляді двотаврів зі змінною висотою, які з'єднані між собою поперечинами (траверсами).

Лонжерони сідельних напівпричепів іноземного виробництва мають варіативні розміри, форму, металоємність і масу. Усі вони являють собою таври змінного перерізу висотою до 41,5 см, виготовлені зварюванням з листового металу товщиною від 4 до 16 мм.

Виробники використовують різні марки сталей для виготовлення рам. Наприклад, рами напівпричепів Kögel виготовляються зі сталі марки StE 460 [5]. Буква «E» вказує на виплавку сталі в електропечі, що забезпечує низький вміст шкідливих домішок (фосфор – до 0,035%, сірка – до 0,03%), а цифра позначає межу текучості в МПа. За стандартом, така сталь містить 0,2% вуглецю, 0,1–0,6% кремнію, 1–1,7% марганцю, приблизно 1% нікелю та 0,3% хрому. Такий склад дозволяє уникнути утворення крихких структур при зварюванні, а нікель знижує ризик крихкого руйнування [6].

Основною перевагою цієї сталі є наявність у її складі невеликої кількості (сотих часток відсотка) ванадію, молібдену, ніобію та азоту. Ці елементи утворюють карбонітриди – дрібні хімічно стійкі сполуки, що стримують ріст зерна. Такий механізм, відомий як карбонітридне зміцнення, дозволяє значно (на 30–35%) підвищити міцність сталі, зменшуючи потребу в додатковій термічній обробці. Завдяки прискореному охолодженню після прокатки сталь одразу отримує необхідні механічні властивості [7].

Ще однією важливою перевагою цієї сталі є її спадкова дрібнозернистість. Під час повторного нагрівання зерна сталі ростуть повільно, і після охолодження залишаються дрібними. Це сприяє збереженню механічних властивостей у зоні термічного впливу під час зварювання і знижує ймовірність утворення тріщин.

1.2. Аналіз досліджень процесів руйнування конструкцій рам засобів транспорту

На сьогодні активно досліджується питання оптимізації рам шляхом зниження їх маси, яке досягається завдяки зменшенню товщини матеріалів, що використовуються у виготовленні, та оцінці напружено-деформованого стану (НДС) рам під час експлуатації.

Зокрема, у роботі [44] було проведено дослідження рам напівпричепів, призначених для перевезення цистерн, із застосуванням методів кінцево-елементного аналізу. Автори обґрунтували можливість зменшення металоємності конструкції на 27,2% шляхом зменшення товщини поздовжніх і поперечних балок. Однак у цих дослідженнях враховувалися виключно статичні навантаження, що не

зовсім коректно для автомобільного транспорту, який зазнає значного впливу динамічних сил.

Практика світової експлуатації свідчить, що надмірне зменшення маси рам нерідко призводить до їх прогину під час роботи (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Вигин рами

На нашу думку, на сучасному етапі розвитку машинобудування зменшення металоємності конструкцій можливе завдяки використанню дорожчих і якісніших матеріалів, що вже застосовуються деякими провідними виробниками. Альтернативний, більш прогресивний підхід до підвищення або відновлення експлуатаційних характеристик полягає в модифікації профілів (перерізів) основних несучих елементів рам як на етапі виробництва, так і під час експлуатації.

Рама автомобіля піддається постійному впливу високих, різноспрямованих динамічних навантажень від тягово-зчіпного пристрою та нерівностей дорожнього покриття, які передаються від колісної групи. Ці процеси часто ускладнюються агресивним хімічним середовищем і нерівномірним розподілом вантажу. Конструкторські рішення орієнтовані на досягнення балансу між низькою вагою, високою міцністю, жорсткістю та гнучкістю. Надмірно гнучка рама може спричинити небажані деформації та поломки, тоді як надмірно жорстка – призводить до швидкого зношення її елементів та підвіски.

Сучасні розробки рам напівпричепів спрямовані на мінімізацію собівартості матеріалів і технологій виробництва. Найнебезпечнішими ушкодженнями залишаються поломки несучих частин. Для металоконструкцій часто неможливо забезпечити рівномірний розподіл навантажень, що провокує деградацію матеріалу та руйнування окремих елементів. Різні ділянки конструкції протистоять різним

видам деформацій – згину, скручуванню або їх поєднанню, що призводить до нерівномірного зношування. Зазвичай пошкоджується невелика частина конструкції, тоді як решта має значний запас ресурсу.

На етапі проєктування важливо ідентифікувати ділянки з найменшим ресурсом та посилювати їх, а під час експлуатації – відновлювати працездатність шляхом додавання підсилюючих елементів чи заміни деталей. Як показує практика, найбільш ефективними для цього є зварювальні та суміжні технології.

Процеси, що передують руйнуванню, розвиваються повільно, однак з прогресуючим прискоренням. Деталь з тріщинами може втратити до 10–80% своєї загальної довговічності, а поломка, що виникає раптово, часто супроводжується мінімальними залишковими деформаціями, що робить руйнування особливо небезпечним.

Сучасна механіка твердого тіла пропонує безліч формул для визначення швидкості поширення втомних тріщин залежно від умов навантаження і впливу зовнішнього середовища. Проте на практиці проблема руйнування конструкційних матеріалів настільки складна, що математичні розрахункові методи не завжди дають змогу точно передбачити поведінку матеріалу. Особливо це стосується ремонтних зварювальних робіт, які змінюють структуру металу в зоні швів, впливаючи на внутрішні напруження та показники міцності сплаву.

На основі численних досліджень встановлено, що механізми втомного руйнування залежать від природи матеріалу, методу зміцнення, умов навантаження, а також пов'язані з утворенням дефектів і пошкоджень у локальних об'ємах матеріалу.

Важливим фактором розвитку втомного руйнування металоконструкцій є середовище, зокрема його корозійні властивості щодо металів та сплавів, з яких виготовлені конструкції. Початковий етап цього процесу зумовлений наявністю неоднорідностей або включень на поверхні металу, що створює локальні ділянки, схильні до корозії. Це призводить до формування корозійно-активних зон, пітингів і виразок, які є потенційними концентраторами напружень. На цьому етапі електрохімічні процеси, посилені механічними напруженнями, відіграють ключову роль.

На другому етапі від існуючих пітингів утворюються фізично короткі тріщини, довжина яких зазвичай не перевищує відстані між мікроструктурними бар'єрами матеріалу. Тут все більшу роль починає відігравати механічний фактор. Подальший розвиток корозійно-механічного руйнування спричиняє зростання та злиття мікротріщин, утворення магістральних тріщин і їх проникнення вглиб матеріалу. Досягнення магістральними тріщинами критичних розмірів завершується катастрофічним руйнуванням конструктивного елемента. Слід зазначити, що кожен елемент конструкції має свою лімітуючу стадію втомного руйнування, яка залежить від його геометрії та умов експлуатації.

Під дією багаторазових циклів змінного навантаження тріщини зазвичай утворюються в найбільш напружених або послаблених зонах металу. У разі багатоциклового навантаження метал стає більш чутливим до концентрації напружень, спричинених дефектами поверхні, підрізами зварних швів або зонами корозії. Як правило, процеси втомного пошкодження розпочинаються з поверхневого шару.

Вивченню втомних тріщин у рамних конструкціях транспортних засобів присвячено багато робіт відомих науковців, таких як В. С. Гурман, М. І. Підгурський, В. Б. Проскуряков, Л. М. Лельчук, В. В. Панасюк та інших. Їхні дослідження підтверджують зв'язок між видом експлуатаційних навантажень і характером руйнувань. Зібрана статистика свідчить про втомні руйнування як лонжеронів, так і поперечин рам автомобілів вітчизняного виробництва. На бортових автомобілях і самоскидах найчастіше руйнуються тільки лонжерони, тоді як навантаження кручення лонжеронів викликають руйнування поперечин рам, а згинальні циклічні навантаження – руйнування самих лонжеронів.

Дослідження автомобілів, що пройшли орієнтовний пробіг $8 \cdot 10^5$ км по дорогах, показали наявність тріщин критичних розмірів. Зокрема, в автобусах ЛАЗ ці тріщини були виявлені в нижній частині об'ємного каркаса в місцях з'єднання закритих прямокутних профілів, причому їх формування також зафіксовано при подібному пробігу (рис. 1.3).

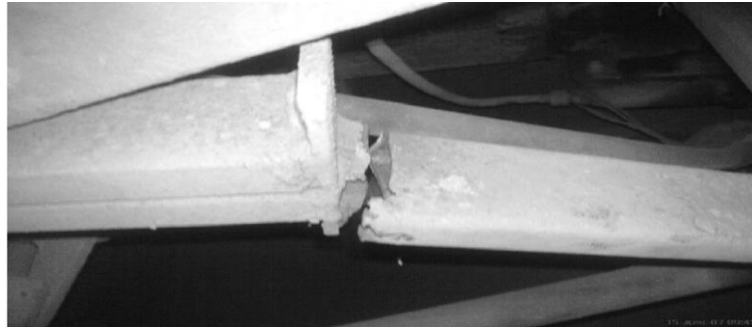


Рисунок 1.3 – Тріщини в горизонтальній частині об'ємного каркаса автобуса ЛАЗ

На основі численних порівнянь та аналізів встановлено, що основними причинами утворення та розвитку тріщин є процеси коливальної динаміки, найчастіше вертикального напрямку. У зв'язку з цим запропоновано вимірювати відносні вертикальні переміщення точок рамного контуру під час експлуатації транспортного засобу, щоб визначити ймовірні зони розвитку втомних руйнувань.

Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану (НДС) під час згину та згину з крученням проводилися на натурних зразках рам, які зазнають основних навантажень і слугують базою для експериментальної установки (рис. 1.4). Результати випробувань згину з крученням показали, що критичні перерізи при крученні рамного контуру розташовані в місцях з'єднання поперечин із лонжеронами. Ці критичні зони визначаються напруженнями кручення (σ_ω), які виникають через сили, що перешкоджають вільній депланації кінцевих перетинів поперечин, переданій вертикальними стінками лонжеронів.

Також встановлено, що основну роль у забезпеченні жорсткості рами відіграють лонжерони та поперечини: близько 90% згинальних навантажень сприймаються лонжеронами, тоді як майже 90% крутних навантажень припадає на поперечини.

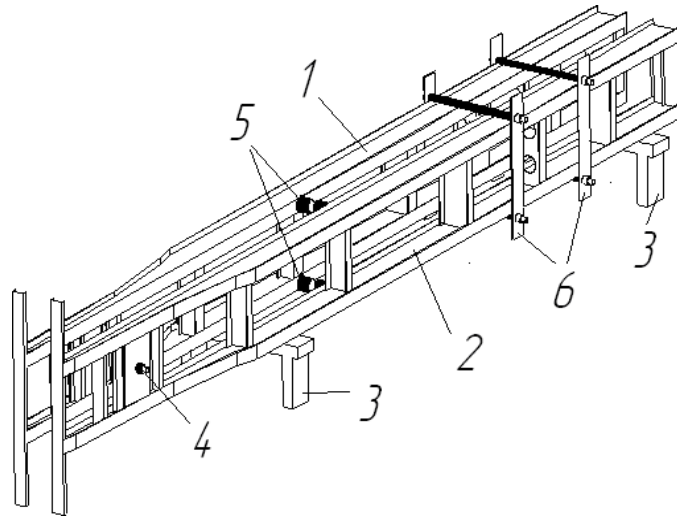


Рисунок 1.4 – Схема експериментальної установки:

- 1, 2 – основи рам; 3 – паралельні підкладки; 4– з'єднувальний стрижень;
5 – гідравлічні силові навантажувачі; 6– з'єднувальні пристрої

Експериментально простежено послідовність виникнення та розвитку тріщин на внутрішньому і зовнішньому боках вертикальної стінки лонжерона. Ці результати мають важливе значення, оскільки дозволяють краще зрозуміти характер і напрямок руйнувань у досліджуваних зонах. Однак їх неможливо узагальнити або поширити на всі конструкції через велику різноманітність їхніх типів та особливостей.

Останнім часом значна увага приділяється розробці конструкцій несучих систем автомобілів із метою зменшення металоємності та раціонального використання міцнісних властивостей матеріалів, з яких виготовляються елементи рами та вузлів. Для забезпечення достатнього ресурсу металоконструкцій несучої системи, зокрема рами, при мінімізації її металоємності без втрати міцності, конструктори застосовують розрахункові схеми та методи, що мають високий рівень деталізації та враховують основні особливості експлуатації несучих конструкцій.

У рамках досліджень використовуються експериментальні методи визначення реального напружено-деформованого стану (НДС) у певних точках металоконструкції рами. В інших дослідженнях дані про напружений стан металоконструкції отримували за допомогою первинних перетворювачів, які відображають фактичну картину деформацій і напружень, що виникають у процесі експлуатації рами напівпричепа (рис. 1.5).

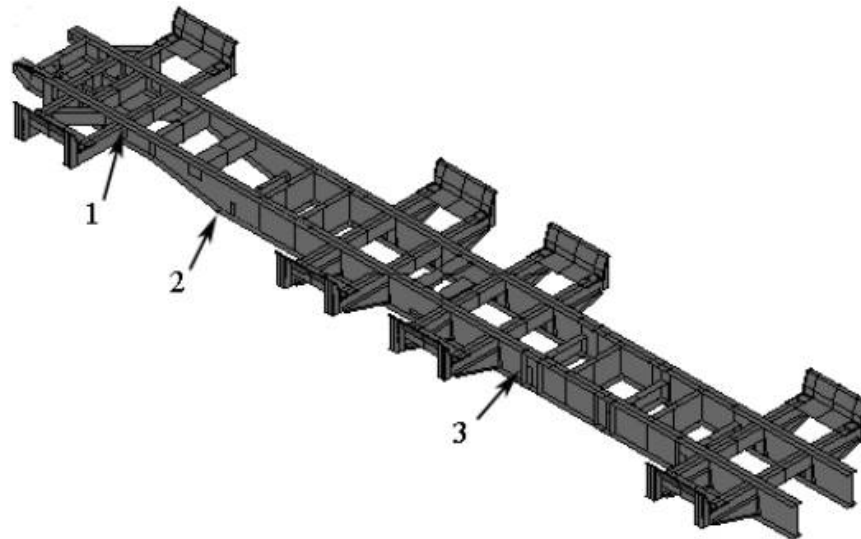


Рисунок 1.5 – Рама напівпричепа

Об'єктом дослідження є двовісний напівпричіп-платформа, призначений для транспортування одного 40-тонного або двох 20-тонних контейнерів типу 1AA та 1CC, а також одного 20-тонного контейнера (повною масою до 30 тонн) на території порту за допомогою сідельних тягачів, таких як Терберг, Оттава, Мафі, МАЗ та інших. На основі багаторічного досвіду експлуатації рам напівпричепів автори ідентифікували найбільш критичні вузли (позиції 1–3, рис. 1.5), у яких були встановлені розетки для первинних перетворювачів.

Дослідження охоплювало три ключові вузли: стінку поперечини у місці її примикання до лонжерона, нижню полицю лонжерона, де спостерігаються максимальні напруження, а також стінку лонжерона у точці кріплення задньої підвіски. У таблиці 1.1 наведені результати кінцево-елементного аналізу та експериментальних досліджень, які виконувалися протягом повного циклу роботи рами – під час навантаження, транспортування та розвантаження контейнера.

Таблиця 1.1 – Еквівалентні напруження у досліджуваних точках

	Еквівалентні напруження у вузлах, МПа		
	T.1	T.2	T.3
Початок завантаження	0,4	3	2,3
удар	6,1	20,2	11,3
кінець завантаження	5,8	18	8
старт	5	21,8	7,8
Правий поворот на 180°	3	14,5	4,6
зупинка	4,3	16,3	6
старт	3,5	21,1	9,7
Правий поворот на 180°	5	12,8	2,7
лівий поворот на 180°	4,1	23,2	12,7
лівий поворот на 180°	5	22,4	12,9
зупинка	5,6	18	10
Зняття контейнера	0,5	1	3

Отримані дані не дають повної картини напружено-деформованого стану всієї системи, однак забезпечують розуміння напружень у досліджуваних вузлах. Ці результати можуть бути використані для комп'ютерного моделювання та ідентифікації моделей.

Усі спостережувані руйнування елементів рам вдалося класифікувати на відносно невелику кількість типових поломок. Характеристики окремих груп пошкоджень деталей рам автомобілів ЗІЛ-164 було складено на основі досліджень, проведених у НДІАТ.

Особливий інтерес становлять поперечні тріщини поздовжніх лонжеронів, адже їхні наслідки можуть бути критичними. Встановлено, що найбільш імовірно ці тріщини виникають у місцях, де одночасно діють поперечні сили та крутильні моменти. До таких зон належать місця кріплення підвіски, поперечин та інших агрегатів до рами.

У деяких випадках тріщини зароджуються поблизу контурів кронштейнів. Волога, яка накопичується біля цих елементів, провокує глибоку корозію стінок, що стає фактором концентрації напружень. Такі концентратори часто є початковими зонами розвитку тріщин, зокрема у місцях проведення ремонтних зварювальних робіт.

1.2 Аналіз методів ремонту та підсилення лонжеронів рамних конструкцій засобів транспорту

Аналіз літератури свідчить, що існує значна кількість розробок, присвячених технологічним процесам ремонту рамних конструкцій із тріщинами. Найбільш поширеними є методи зварювання та встановлення підсилюючих накладок. Проте дослідження, які розглядають зміну напружено-деформованого стану відновлених конструкцій, залишаються малочисельними.

На даний момент, якщо тріщина проходить за середину стінки поздовжньої балки, рама автомобіля вітчизняного виробництва визнається непридатною. Вона може бути відремонтована лише за умови, що на одній поздовжній балці є не більше двох тріщин, які не доходять до середини профілю. Якщо ж на кожній поздовжній балці є більше двох тріщин, що досягають середини профілю, або хоча б одна тріщина, що проходить за середину профілю, така рама ремонту не підлягає й має бути замінена на нову. Це вимагає підтримки запасів або організації виробництва нових рамних конструкцій для автомобілів, що перебувають в експлуатації.

Водночас велика кількість автомобілів, як нових, так і давно знятих із виробництва, активно експлуатуються сучасними автотранспортними підприємствами. У разі виникнення зазначених дефектів підприємства змушені списувати автомобілі, навіть якщо їхній ресурс вичерпаний лише частково, іноді навіть наполовину. Це є економічно не вигідним, що робить проблему ремонту наскрізних поперечних тріщин рам актуальною та важливою для розв'язання.

Поліпшення пружних характеристик рами під час ремонту чи переобладнання автомобіля можливе шляхом встановлення додаткових елементів, таких як пластини або профілі (рис. 1.6).

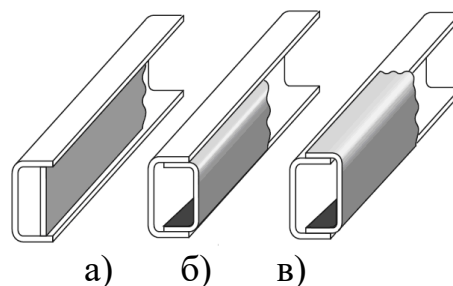


Рисунок 1.6 – Схеми підсилення лонжерона швелерного типу:
а) закритий швелерний; б) вкладений; в) накладений один в інший

Таке переобладнання суттєво збільшує масу автомобіля і не завжди може бути реалізованим. На практиці підсилення зазвичай здійснюється шляхом встановлення дублюючого швелера меншого розміру всередині основного (рис. 1.7 а), накладення частини швелера поверх основного (рис. 1.7 в) або використання просторових вставок (рис. 1.7 б).



а)



б)



в)

Рисунок 1.7 – Варіанти конструктивного підсилення рами автомобіля КаМАЗ шляхом: а) встановлення дублюючого швелера меншого розміру всередині основного; б) застосування просторових вставок; в) накладення частини швелера поверх основного.

Зварювання при виготовленні рам використовується досить рідко, оскільки лонжеронні рами вантажних автомобілів характеризуються відносною податливістю до згинання і, особливо, до кручення, а зварні шви за таких умов стають джерелами виникнення тріщин.

Водночас рами більшості напівпричепів іноземного виробництва є суцільнозварними, з лонжеронами двотаврового типу змінного перерізу. Під час експлуатації на полицях таких рам часто з'являються тріщини, ремонт яких вимагає не лише їх заварювання, але й додаткового підсилення окремих ділянок рами (рис. 1.8).



а)

б)



в)

г)

Рисунок 1.8 – Етапи ремонту та підсилення рами напівпричепи:

а) забезпечення доступу до пошкодженої ділянки; б) виправлення геометрії та фіксація елементів у правильному положенні; в) зачищення поверхонь для зварювання; г) зварювання тріщини та встановлення підсилюючого елемента

На сьогодні немає універсальної методики розрахунку та виконання зазначених операцій. Більшість ремонтних робіт проводяться без належних проектних розрахунків, що створює ризик повторного руйнування конструкції. Це підкреслює потребу в розробці ефективних методик розрахунку параметрів ремонтних операцій та проектування підсилюючих елементів. Вони мають забезпечувати надійність конструкції за мінімальних витрат часу, матеріалів і трудових ресурсів.

Сучасні способи ремонтного зварювання рам транспортної техніки та машин мають ряд недоліків. Деякі є занадто складними, інші – недостатньо ефективними.

Особливо критичними є пошкодження стінок лонжеронів, які суттєво знижують міцність і довговічність конструкції.

Відомі підходи до гальмування та зупинки тріщин включають застосування електричних, магнітних, термічних і механічних методів. Проте більшість із них є надто складними для практичного впровадження. У реальних умовах використовуються методи, спрямовані на зниження коефіцієнта інтенсивності напружень, зокрема:

- використання сталей із помірною ударною в'язкістю;
- застосування енергопоглинаючих пристосувань, ремонтних латок або ребер жорсткості.

Ремонт рам найчастіше здійснюється ручним електродуговим зварюванням через складну конфігурацію деталей і коротку довжину швів. Хоча напівавтоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу має потенційні переваги, воно вимагає додаткових досліджень для визначення оптимальних параметрів процесу, таких як режим зварювання та вибір зварювального дроту.

Зона термічного впливу завжди знижує витривалість стикових з'єднань у порівнянні з основним металом. Тому форма і розміри підсилюючих елементів повинні ретельно підбиратися, хоча єдина методика для цього відсутня.

Дослідження показали, що зменшення розмірів ремонтної накладки (рис. 1.9а) може знижувати ефективність гальмування тріщини, а збільшення – ускладнює конструкцію, підвищує довжину зварного шва та площу термічного впливу. Це, своєю чергою, може сприяти крихкому руйнуванню в зоні ремонту.

Таким чином, необхідно продовжувати розробку раціональних підходів до проектування підсилюючих елементів, оптимізації режимів зварювання та зменшення негативного впливу ремонтних швів на довговічність конструкцій.

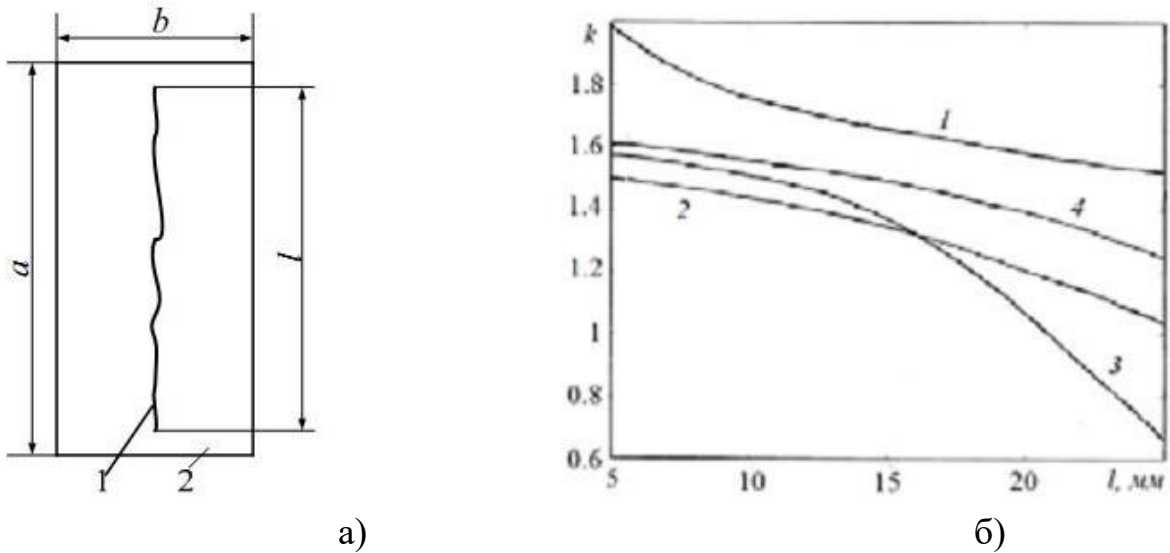


Рисунок 1.9 – Вплив основних розмірів прямокутної ремонтної накладки на її ефективність: а) схема закріплення, б) залежність показника ефективності від параметрів тріщини (1,2,3,4 – різні конструкції)

Для оцінки ефективності ремонтної накладки автори ввели розрахунковий показник $k = \sigma_{\text{crack}} / \sigma_{\text{рз}}$ –, який визначає співвідношення напруження σ_{crack} у зоні тріщини до напруження $\sigma_{\text{рз}}$ у цій же зоні після встановлення ремонтної накладки. Зі збільшенням цього показника підвищується ефективність накладки (рис. 1.9 б). Визначення оптимальних розмірів накладок здійснювалось шляхом варіювання співвідношень a/b (довжина до ширини накладки) та a/l (довжина накладки до довжини тріщини). Однак, у дослідженні розглядається лише прямокутна форма накладок, без урахування можливості інших геометрій.

Інший підхід до ремонту полягає у підсиленні місць із завареними тріщинами шляхом встановлення накладок, які дублюються, якщо це дозволяє конструкція вузла чи деталі. Залежно від перерізу елементів, що з'єднуються, накладки можуть бути плоскими, кутовими чи коробчатими. У разі використання односторонньої накладки її товщина повинна становити щонайменше 0,8–1,0 товщини основного металу, а для двосторонніх – не менше половини. Автори зазначають, що плоскі накладки повинні перекривати заварений стик або тріщину на відстань не менше 100 мм, але за необхідності допускається скорочення до 50 мм. Під час приварювання двосторонніх накладок шви мають бути зміщені відносно один одного на відстань не менше 30 мм.

Загальні рекомендації включають наступне: накладки рекомендується приварювати по всьому контуру. При цьому спочатку слід виконувати стикові шви, перпендикулярні до силового потоку, потім решту стикових швів, і в останню чергу – кутові шви, починаючи з поперечних, а потім поздовжніх. Лобові та косі кутові шви мають виконуватись із відношенням більшого катета до меншого від 1,5 до 2, причому більший катет повинен розташовуватись уздовж лінії дії зусиль.

Підсилювальні накладки рекомендується виготовляти зі сталей тих же марок, що й основні деталі конструкції, або з низьколегованих сталей, таких як 09Г2Д, 09Г2СД, або 10Г2БД, згідно з кресленнями та інструкціями.

Основною проблемою підсилення небезпечних зон є ризик пошкодження основного металу рами внаслідок негативних процесів, що виникають під час зварювання. До таких процесів належать:

- висока температура зварювальної дуги, яка формує потужні теплові поля;
- виникнення залишкових напружень і деформацій;
- перерозподіл хімічних елементів і рекристалізація матеріалу в зоні термічного впливу.

Ці явища можуть негативно вплинути на міцність і довговічність конструкції, тому необхідно ретельно підходити до вибору технології ремонту і підсилення.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Матеріали для ремонту та підсилення конструкцій рам транспортних засобів

2.1.1. Матеріали рам засобів транспорту

У дослідженні розглядалися широко використовувані в автомобілебудуванні сталі, які належать до першої групи зварюваності [5], зокрема сталі 09Г2, 09Г2С, 10Г2БД, та Ст3сп. Ці низьколеговані кремнієво-марганцеві сталі відзначаються підвищеною міцністю порівняно з низьковуглецевими сталями. Для них характерні такі механічні властивості:

- межа текучості $\sigma_{0,2} = 320...350$ МПа;
- межа міцності $\sigma_b = 500...550$ МПа;
- співвідношення $\sigma_{0,2}/\sigma_b = 0,65...0,75$, що забезпечує надійну експлуатацію

рамних конструкцій вантажної техніки.

Низьколеговані кремнієво-марганцеві сталі, у гарячекатаному або нормалізованому станах, мають ферито-перлітну структуру.

Вплив легувальних елементів на властивості сталей є наступним.

Зі збільшенням його вмісту марганця від 0,07% до 1,83% у низьковуглецевій сталі знижується поріг холодноламкості. Проте, при перевищенні концентрації Mn > 1,83% поріг холодноламкості зміщується до більш високих температур.

Значно підвищує міцність сталі збільшення вмісту кремнію, однак при вмісті понад 2% спостерігається зниження пластичності, ударної в'язкості та погіршення холодноламкості. Кремній також знижує ударну в'язкість зварних з'єднань через схильність до утворення гарячих тріщин.

Заміна звичайних низьковуглецевих сталей (наприклад, Ст3сп, 20, 20К) на низьколеговані кремнієво-марганцеві сталі дозволяє:

- зменшити витрати металу на 20%,
- скоротити витрати на виготовлення обладнання та транспортування на 15...25%, що забезпечує значний економічний ефект у виробничих процесах.

2.1.2. Матеріали для зварювання та супутніх процесів

Для зварювання тріщин у рамних конструкціях застосовувалися електродні матеріали загального призначення, призначені для зварювання вуглецевих і низьколегованих конструкційних сталей, зокрема УОНІ 13/55 відповідно до стандартів ДСТУ 9467–75 та ДСТУ 15150–69.

Характеристики використовуваних марок електродів, приведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики досліджуваних матеріалів

Тип електрода	Марка електрода	Зварюваність сталі	Рід струму	Просторове положення	Режим зварювання	
					Діаметр	Струм зварювання
Е50А	УОНІ-13/55	Вуглецеві і низьколеговані сталі з σ_b до 450 МПа при підвищених вимогах до металу шва по пластичності, ударній в'язкості і стійкості проти утворення тріщин	Постійний, зворотної полярності	Всі положення (електроди діаметром 5,0 мм - тільки для нижнього і вертикального)	2,0	35-60
					2,5	40-75
					3,0	70-100
					4,0	130-160
					5,0	160-210
Е42А	УОНІ13/45	Вуглецеві і низьколеговані сталі з σ_b до 410 МПа при підвищених вимогах до металу шва по пластичності, ударній в'язкості і стійкості проти утворення тріщин	Постійний, зворотної полярності	Всі положення (електроди діаметром 5,0 мм - тільки для нижнього і вертикального)	2,0	35-60
					2,5	40-75
					3,0	70-100
					4,0	130-150
					5,0	160-200
Е50А	ОЗС-33	Те ж	Змінний, постійний будь якої полярності	Те ж	3,0	90-140
					4,0	130-210
					5,0	160-270
	ОЗС-25	Те ж, в тому числі при знижених температурах	Постійний, зворотній полярності	Всі положення (електроди діаметром 5,0 мм - тільки для нижнього і вертикального)	2,5	40-75
					3,0	70-100
					4,0	130-160
					5,0	160-200

Для виконання ремонтного заварювання-паяння рамних конструкцій із тріщинами застосовували припої на основі міді, які є найбільш поширеними для високотемпературного паяння. До цієї групи належать мідь та її сплави: Cu-Zn, Cu-Ni, Cu-P, Cu-Mn-Ni.

Мідь широко використовується для високотемпературного паяння вуглецевих і легованих сталей у вакуумі завдяки її низькому тиску пари у вакуумі. Однак, під час паяння в окислювальних середовищах можливе утворення газових пор та кристалізаційних тріщин через появу евтектики Cu-CuS.

Мідно-цинкові припої застосовуються для паяння міді, сталей і чавунів, зокрема за умов швидкого нагрівання на повітрі за допомогою газового пальника, СВЧ, або в соляних ваннах. Ці припої характеризуються:

- нижчою температурою плавлення (825...905°C),
- високою корозійною стійкістю,
- хорошими показниками міцності та пластичності.

Найпоширеніші марки мідно-цинкових припоїв: ПМЦ-36, ПМЦ-48, ПМЦ-54, Л-62, ЛОК-62-06-04 тощо.

Процес паяння здійснюється із використанням флюсів на основі бури та борної кислоти. Однак паяння у вакуумі або газових середовищах не виконується через випаровування цинку.

2.1.2.Зразки для експериментальних досліджень

Для експериментальних досліджень застосовували елементи відпрацьованих конструкцій рам (рис. 2.1).

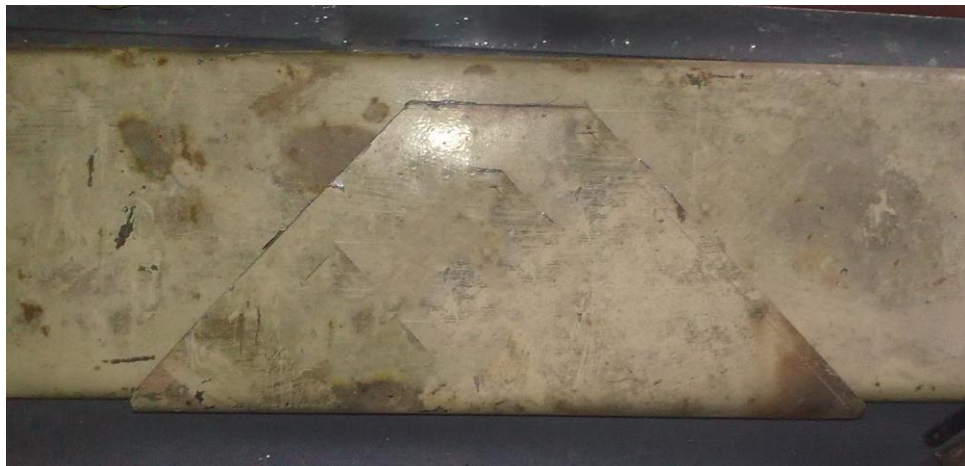


Рисунок 2.1 – Частина лонжерона рами з накладкою для підсилення

Для проведення експериментів, спрямованих на вивчення режимів впливу і параметрів технологічного процесу приготування підсилюючих накладок на структуру та механічні властивості основного матеріалу, були виготовлені дослідні зразки (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Дослідні зразки

Для визначення ресурсу до утворення мікротріщин у заварених експериментальних зразках були вирізані частини, які використовували для проведення ударно-циклічних випробувань на втомну міцність (рис. 2.3).

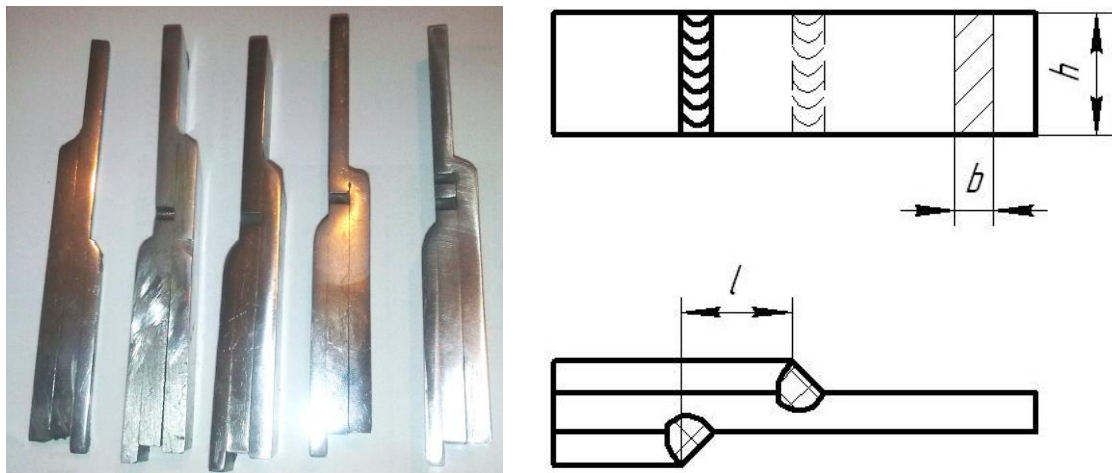


Рисунок 2.3 – Дослідні зразки для визначення втомного напруцювання

Для оцінки запасу міцності заварених зразків були проведені випробування на розрив (рис. 2.4) та визначення ударної в'язкості (рис. 2.5). Оскільки чітких стандартів для випробувань зварних з'єднань внапуск не виявлено, було вирішено

застосувати відомі методики випробувань, максимально наближені до умов експлуатації конструкції.

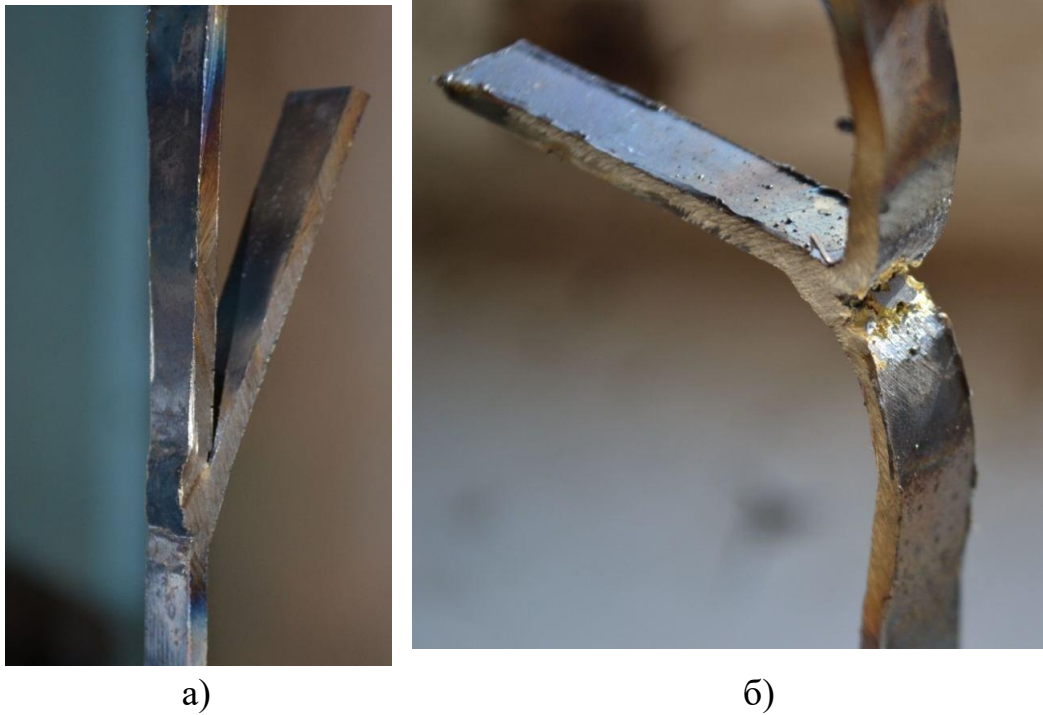


Рисунок 2.4 – Зразки для випробувань на зсув (а) та позацентровий розтяг (б)



Рисунок 2.5 – Дослідні зразки для розрахунку ударної в'язкості

Проведеними експлуатаційними випробування на автомобілях впродовж 4-х років з пробігами понад 300 тис. км повторного руйнування не виявлено.

2.2. Алгоритм моделювання та досліджень рамних конструкцій у середовищі програм кінцево-елементного аналізу

Комп'ютерне моделювання операцій, які супроводжуються виділенням тепла (наприклад, зварювання чи паяння), здійснюється за наступною схемою:

1. створення 3D-моделі деталі;
2. визначення фізико-механічних властивостей матеріалу відповідно до робочого креслення;
3. визначення ступенів вільності та розташування деталі в просторі, а також генерація її кінцево-елементного аналога;
4. завдання навантажень, що діють на деталь під час операції та часу їх дії;
5. проведення розрахунків температур, деформацій, напружень тощо, з подальшим виведенням результатів у вигляді графіків, таблиць або полів.

Створена модель зберігається в пам'яті комп'ютера у вигляді файлу.

Для спрощення процесу моделювання та скорочення часу розрахунків використовують деталь-представник, що складається з основи та двох пластин. Це дозволяє визначити температурні поля, оптимальні схеми та режими зварювання, які забезпечують мінімальні втрати міцності основного металу через тепловий вплив, що сприяє підвищенню загальної міцності конструкції.

Першим етапом є створення 3D-моделі деталі. Це можна зробити за допомогою модулів програм для кінцево-елементного аналізу або шляхом імпорту попередньо створеної моделі з CAD-систем (наприклад, AutoCAD чи SolidWorks). Для імпорту модель необхідно зберегти у форматі, який підтримується програмою кінцево-елементного аналізу (наприклад, igs, sat або x_t). Після імпорту моделі їй автоматично присвоюються стандартні фізико-механічні властивості, які можуть бути скориговані вручну відповідно до реальних характеристик матеріалу (густина, теплопровідність тощо) або обрані з бази даних програми.

Після створення твердотільної моделі генерується її кінцево-елементний аналог у вигляді сітки вузлів та елементів:

Кількість кінцевих елементів впливає на точність і тривалість розрахунків.

Детальне розбиття забезпечує високу точність результатів, але значно збільшує час розрахунків та об'єм файлів. Наприклад, для моделі з кількістю елементів 200 000–300 000 розмір файлу може досягати 10–20 Гбайт, а розрахунок може тривати кілька годин.

Для підвищення точності доцільно виконувати детальніше розбиття в областях, що безпосередньо контактують із зонами прикладення навантаження, наприклад, у зоні зварного шва (рис. 2.6). Грубе розбиття може призвести до некоректного відображення результатів.

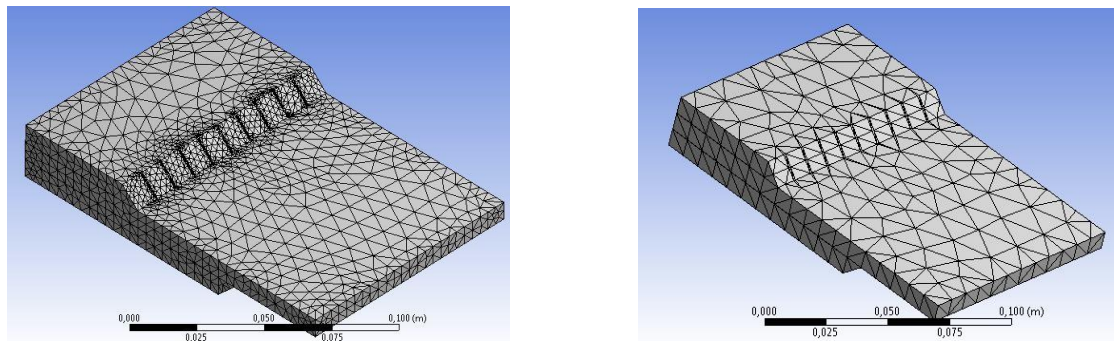


Рисунок 2.6 – 3D-модель ділянки рами з сіткою кінцевих елементів

Наступним етапом є вибір типу процесів для аналізу. При моделюванні процесів відновлення та підсилення рам з використанням зварювання доцільно досліджувати теплові процеси, а також деформації та напруження, які виникають під впливом теплового навантаження. У програмах кінцево-елементного аналізу ці процеси моделюються за допомогою модуля Thermal-Stress (рис. 2.7), який об'єднує дві підсистеми – Transient Thermal для аналізу теплових процесів і Transient Structural для дослідження структурних змін.

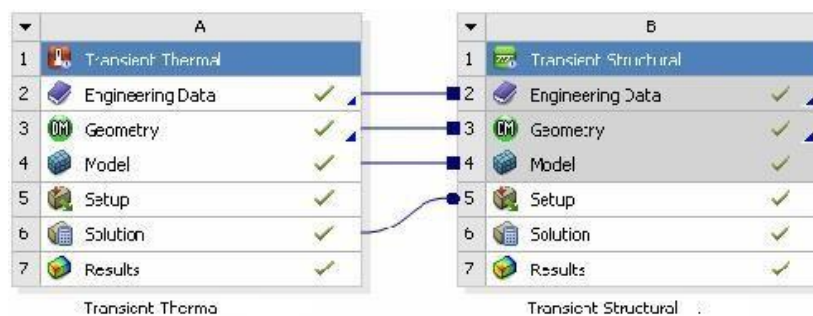


Рисунок 2.7 – Схема встановлення зв'язків між розрахунковими модулями

Спершу для аналізу динамічних теплових процесів, що виникають у деталі під впливом теплового навантаження, у модулі А (рис. 2.7) активується система Transient Thermal. Далі, за допомогою модулю В (рис. 2.7), виконується аналіз динаміки змін напружено-деформованого стану (НДС) рами з використанням системи Transient Structural, яка враховує нерівномірне поширення тепла внаслідок зварювання.

Між цими модулями існує тісний взаємозв'язок, оскільки обидва використовують спільні дані, такі як 3D-твердотільна модель, її фізико-механічні характеристики та кінцево-елементний аналог. Результати розрахунків модуля А, зокрема температурне поле, стають вхідними даними для модуля В (шлях: 6 Solution А → 5 Setup В).

Під час моделювання процесу зварювання рами вхідним збуренням є рухомий тепловий потік певної потужності, який створюється електричною дугою. Рух теплового потоку імітується поетапним введенням тепла на відповідні ділянки зварного шва. Потужність теплового потоку визначається параметрами процесу зварювання, а час його дії на кожній ділянці залежить від швидкості зварювання та розмірів кінцевих елементів. На кожному наступному етапі розрахунків враховуються результати, отримані на попередньому етапі.

Результатом роботи модуля Transient Thermal (модуль А) є температурне поле, представлене у вигляді графічних зображень (рис. 2.8) та числових масивів, які автоматично формуються програмою. Ці дані використовуються як вхідні параметри для розрахунків модуля Transient Structural (модуль В).

Модуль Transient Structural обробляє результати, отримані від Transient Thermal, і визначає основні параметри напружено-деформованого стану (НДС) деталі.

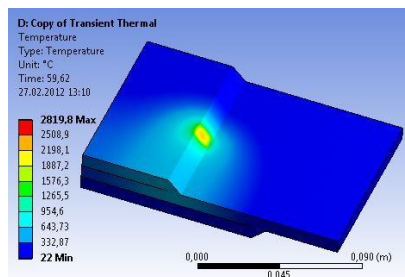


Рисунок 2.8 – Поле поширення температури у матеріалі в процесі зварювання

Результати виводять у вигляді певного масиву даних або графічно у вигляді полів напружень чи деформацій (рис. 2.9).

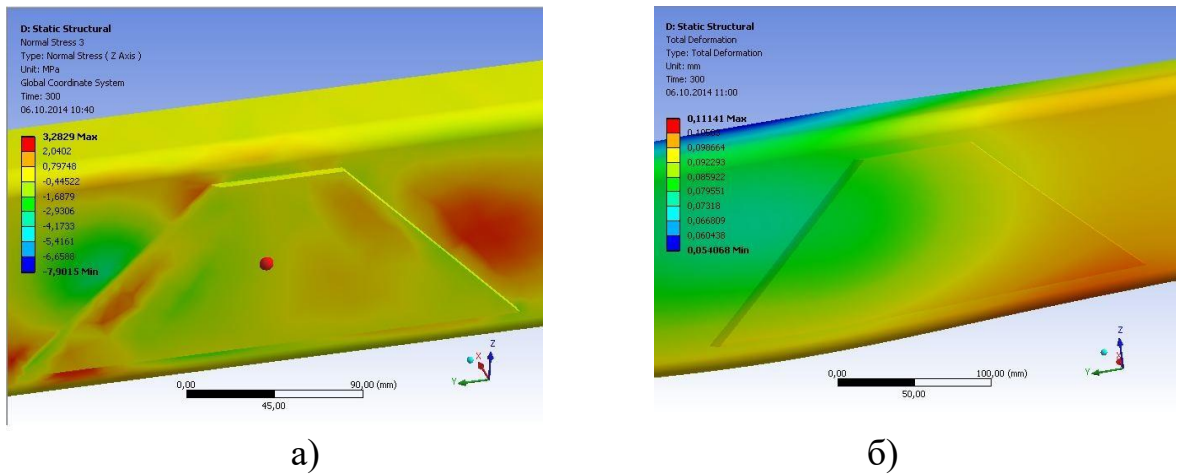


Рисунок 2.9 – Результат Модуля В (Transient Structural):

а) напруження; б) деформації

Отже, моделювання процесів у програмному середовищі кінцево-елементного аналізу дозволяє визначити низку параметрів моделі, які можуть стати основою для розробки технологічних операцій ремонту.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ РАМИ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ ТА ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСІВ РЕМОНТУ РАМНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Рама є основним несучим елементом кузова більшості транспортних засобів, на який впливає сукупність статичних і динамічних навантажень. Характер навантаження основних несучих частин залежить від умов експлуатації та типу автомобіля. Наприклад, у рамах вантажівок, що перевозять вантажі з високим центром ваги, основною причиною руйнування є крутильні моменти, які виникають у процесі експлуатації. Для інших типів автомобілів руйнування рами найчастіше спричиняється дією поперечних сил або їх поєднанням із крутильними моментами.

Через це узагальнений аналіз усіх конструкцій рам є неможливим, особливо з огляду на суттєві відмінності в їхній конструкції. Тому для подальших досліджень були обрані рами автомобілів, які піддаються найбільш широкому спектру навантажень. Це автомобілі, що використовуються в лісопереробній галузі, які переважно експлуатуються в умовах бездоріжжя та оснащені гідроманіпуляторами. Робота гідроманіпулятора створює додаткові навантаження кручення на раму (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Автомобілі з гідроманіпулятором

Дослідження низки автомобілів, оснащених маніпуляторами, виявило, що частота пошкоджень їх рам значно перевищує аналогічний показник у інших транспортних засобів. Особливо помітна схильність до пошкоджень у рам автомобілів, на які гідроманіпулятори були встановлені не заводом-виробником, а сторонніми підприємствами без належного обґрунтування технології монтажу та параметрів конструкції.

3.1 Врахування фактичних навантажень та умов роботи на ділянках рамних конструкцій транспортних засобів з можливими ушкодженнями

На досліджуваному автомобілі, у якого було виявлено поперечну тріщину в лонжероні рами, встановлено гідроманіпулятор. Проведені раніше дослідження показали, що схеми переміщення вантажу гідроманіпулятором мають суттєвий вплив на ушкоджені ділянки лонжерона. Під час роботи гідроманіпулятор створює значні додаткові нормальні сили та крутильні моменти, що посилюють навантаження на раму. Операції навантаження-розвантаження можуть виконуватися за різними траєкторіями переміщення вантажу, що дозволяє оптимізувати їх з метою зниження напружень і деформацій у небезпечних зонах.

Встановлено, що максимальні напруження та деформації рамної конструкції виникають у зонах примикання розкосів і в місцях дії нормальних сил та крутильних моментів. Тому дослідження напружень і деформацій проводилися в небезпечних зонах (Т1–Т4, рис. 3.2) навколо тріщини залежно від просторового положення навантаженої стріли гідроманіпулятора.

На першому етапі визначали напруження в зоні пошкодження в залежності від кута повороту стріли 1 відносно поперечної осі автомобіля. Потім досліджували вплив вильоту штока гідроциліндра 3, закріпленого на стрілі 1 гідроманіпулятора (рис. 3.2).

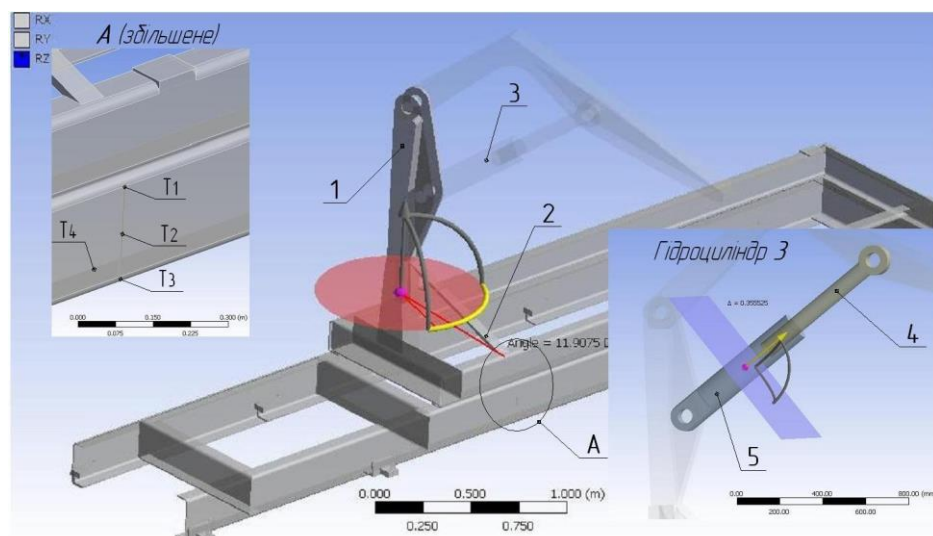


Рисунок 3.2 – Моделювання процесу повороту та підйому стріли гідроманіпулятора

На основі отриманих результатів моделювання встановлено, що найбільші напруження та деформації спостерігаються в зоні з'єднання упора 2 з рамою, де й утворилася тріщина. За числовими даними були побудовані графіки залежностей деформацій (рис. 3.3), що виникають у точках тріщини, та напружень (рис. 3.4) від кута повороту стріли гідроманіпулятора. Виявлено, що зона тріщини зазнає максимальних навантажень у ситуації, коли підйом вантажу здійснюється з боку тріщини. Це відбувається за умови, коли упор 2 знаходиться в одній площині зі стрілою 1 під кутом 30° відносно поперечної осі автомобіля.

Після визначення найбільш критичного кутового положення стріли маніпулятора було досліджено вплив вертикального положення вантажу на напружено-деформований стан рами. Виявлено, що цей стан залежить від ступеня виходу штока гідроциліндра маніпулятора (рис. 3.5, 3.6).

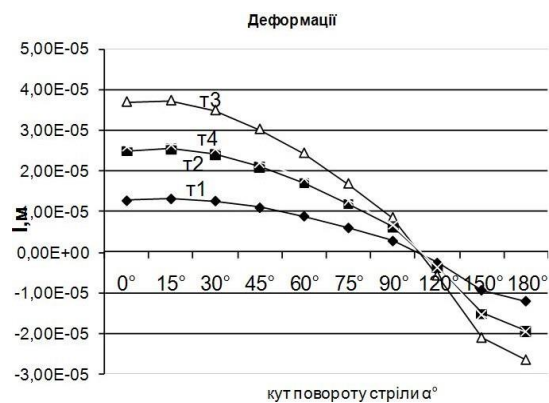


Рисунок 3.3 – Графік впливу на деформації матеріалу рами, які виникають в точках на шляху передбачуваної тріщини від величини кута повороту стріли



Рисунок 3.4 – Графік впливу напружень в матеріалі рами в точках на шляху передбачуваної тріщини від величини кута повороту стріли

Основне навантаження під час підйому вантажу, підвішеного до стріли гідроманіпулятора, виконує гідроциліндр. Висота підйому вантажу обмежується максимально допустимою довжиною виходу штока гідроциліндра, тому напруженість небезпечної ділянки рами аналізувалася залежно від його положення.

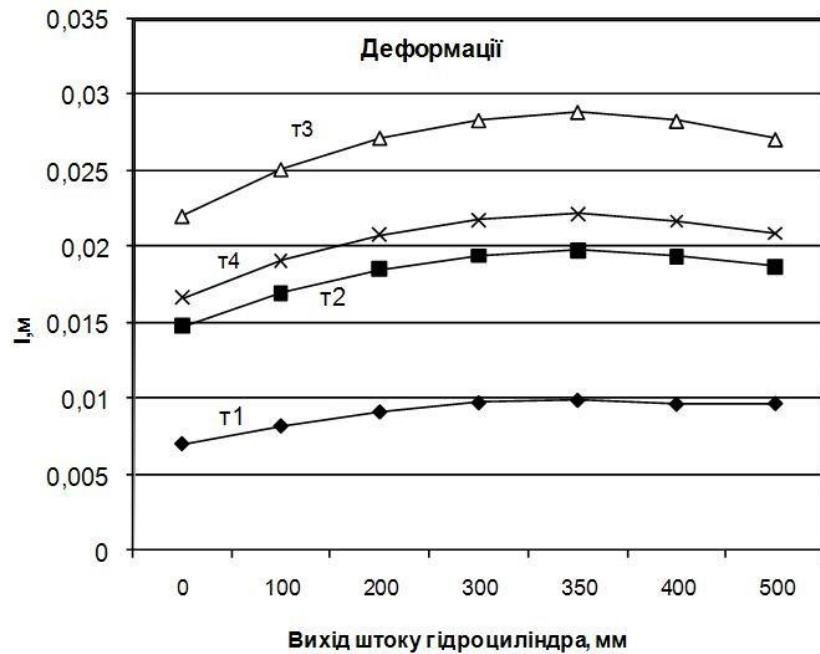


Рисунок 3.5 – Графік величини деформацій матеріалу рами, які утворюються в точках на шляху передбачуваної тріщини від ходу штока гідроциліндра стріли



Рисунок 3.6 – Графік значень напружень у матеріалі рами, які утворюються в місцях передбачуваної тріщини залежно від величини положення штока гідроциліндра стріли

З графіка напружень (рис. 3.6) спостерігається певна розбіжність у поведінці кривих T₁, T₂ та T₃, T₄. Однак, як уже зазначалося, розвиток тріщин починається з внутрішнього краю лонжерона, тому для аналізу ключовими є дані, отримані для точок T₄ і T₃.

Запропоновану модель можна ефективно використовувати для визначення оптимальних режимів виконання вантажно-розвантажувальних робіт на автотранспорті. Наприклад, у випадку лісовозів із маніпулятором, завдяки оптимізації схеми переміщення вантажу та правильному розташуванню автомобіля, можна знизити напруження в критичних зонах рами на 10 % без зменшення продуктивності.

Наступним етапом стало моделювання напружено-деформованого стану рами після заварювання тріщини під дією навантаження як від вантажу, підвішеного до стріли підйомника, так і від того, що знаходиться в кузові автомобіля. Дослідження виявило, що конструкція після заварювання тріщини має недостатній запас міцності, що потребує додаткового підсилення.

3.2. Дослідження факторів впливу на технологію встановлення елементів підсилення рами

3.2.1. Визначення розмірів та форми накладок за картиною полів напружень

Форма та переріз накладки були визначені за допомогою розробленої моделі, використовуючи результати аналізу напружено-деформованого стану рами, отримані в попередньому розділі. На основі конфігурації полів напружень на поверхні рами були виділені зони з різними рівнями напруженості, від максимального σ_1 до мінімального σ_n , де n – кількість рівнів. Форма накладки була спроектована таким чином, щоб повністю охопити зони з небезпечними рівнями напружень, які можуть сприяти утворенню тріщин. На рис. 3.7 ці зони позначені як σ_1 та σ_2 .



Рисунок 3.7 – Поля напружень на ділянках рами із встановленими підсилюючими накладками

Виявлено, що в даному випадку для підсилення слід застосувати накладку, яку вирізали з швелера або кутника у формі трапеції (рис. 3.8) .

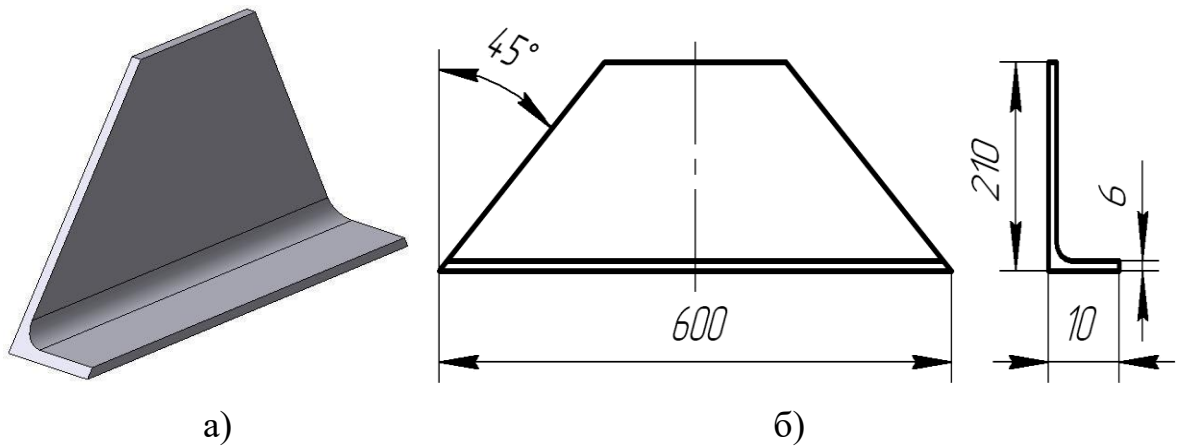


Рисунок 3.8 – Підсилюючаа накладка: 3D модель (а) і ескіз (б)

Існують різні способи встановлення накладок. Їх можна монтувати з одного боку підсилюваної ділянки або дублювати з протилежного боку. Розміри дубльованих накладок можуть бути однаковими або відрізнятися.

Монтаж накладок здійснюється шляхом накладання зварних швів по контуру накладки.

Для обраної конструкції було змодельовано процес встановлення накладки для підсилення лонжерона рами з одного боку. У результаті встановлено, що після приварювання накладки в зоні температурного впливу зварювальної дуги виникають залишкові напруження (рис. 3.9). Ці напруження можуть спричинити повторне руйнування відновленої ділянки під час експлуатації.

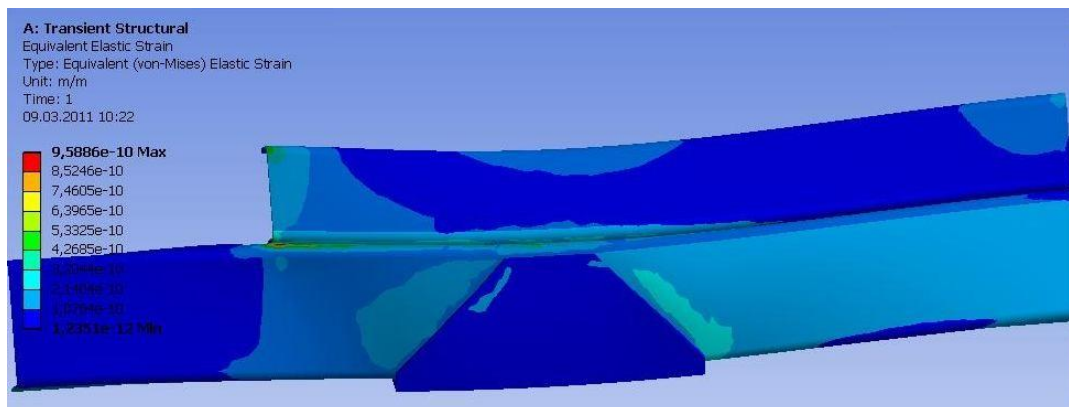


Рисунок 3.9 – Характеристика напружень у зоні температурного впливу зварювальної дуги

Зменшити залишкові напруження після зварювання можна відомими методами, такими як термічна обробка чи проклепування. Однак більш ефективним є їх мінімізація ще на етапі виконання зварювальних робіт шляхом застосування раціональної технології приварювання. Для цього пропонується дублювати накладку меншого розміру, але з такою ж формою, а також визначити оптимальні розміри та режими зварювання.

Особливу увагу слід приділити взаємному впливу теплових полів, що утворюються під час накладання паралельних зварних швів для кріплення обох накладок, на залишкові напруження та деформації. Також важливим є вплив відстані між зварними швами b (рис. 3.10). Аналіз досвіду зварювання показав, що зона температурного впливу для матеріалу, аналогічного до того, що використовується в рамі, становить від 5 до 30 мм. Ці параметри були враховані як вхідні дані для подальших досліджень.

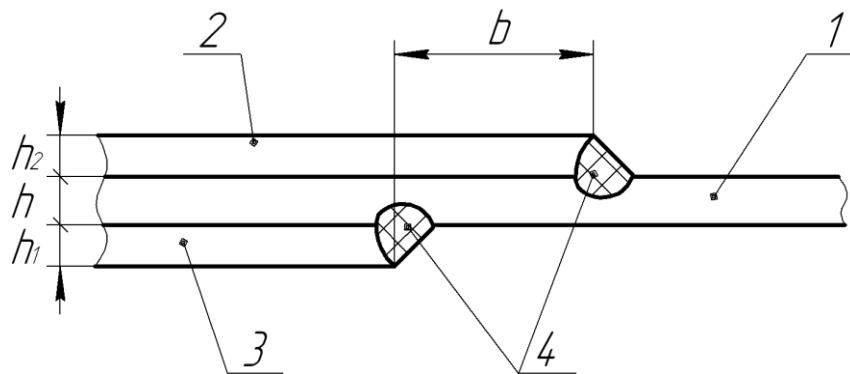


Рисунок 3.10 – Схема (у перерізі) приварювання підсилюючих елементів рами

1 –рама ; 2,3 –елементи підсилення ; 4 – зварювальні шви

Одним із ключових результатів досліджень стало визначення конкретних конфігурацій температурних полів у рамі, швидкості охолодження зварюваної ділянки та взаємного теплового впливу під час виконання паралельних зварних швів. Остаточним результатом є аналіз напружено-деформованого стану в зоні зварювання, який слугує основою для ухвалення технічних рішень.

3.2.2. Розробка технології приварювання накладок

У процесі зварювання теплопередача в матеріалі деталі характеризується змінними параметрами. Це зумовлено тривалістю дії та високою потужністю джерела теплоти – зварювальної дуги та ванни розплаву. Форма та розміри ізотерм мають асиметричний характер і суттєво змінюються залежно від таких факторів, як

сумарна товщина перерізу, відстань між зварними швами та інтервал часу між проходженнями зварювальної дуги через задані точки.

Через невелику відстань між зварними швами останні піддаються попередньому та супутньому підігріванню. Це є ефективним технологічним прийомом для зменшення залишкових напружень і мінімізації ризику утворення холодних тріщин.

Утворення холодних тріщин пов'язане з наявністю в конструкційних сталях легувальних елементів, таких як марганець, хром, молібден тощо, які впливають на температурний інтервал γ - α перетворення. Під час зварювання в зоні термічного впливу зростає ймовірність утворення гартівних структур, що знижує стійкість сталі до виникнення тріщин.

У ході досліджень були визначені температури взаємного підігрівання зварних швів під час встановлення накладок. На графіку (рис. 3.11) показано, як змінюється величина підігріву зони накладання наступного шва залежно від відстані b між швами (див. рис. 3.10). Температура підігріву визначається з урахуванням таких факторів:

- товщини стінки деталі h ;
- температури навколишнього середовища $t_{сер}$;
- ступеня легування сталі Секв.;
- типу покриття електрода.

У цьому випадку температура повинна становити 150–200 °С. Розрахунки показали, що за тепловкладення 20 Вт/мм² і швидкості зварювання 9 м/год необхідна температура підігріву досягається при відстані між швами не більше 25 мм.

Важливим результатом цих досліджень є визначення конкретних конфігурацій температурних полів в рамі, швидкості охолодження зварюваної ділянки рами та взаємного тепловпливу процесів при виконанні паралельних швів. Остаточним результатом досліджень, що дає інформацію для прийняття рішень, є напружено-деформований стан місця зварювання.

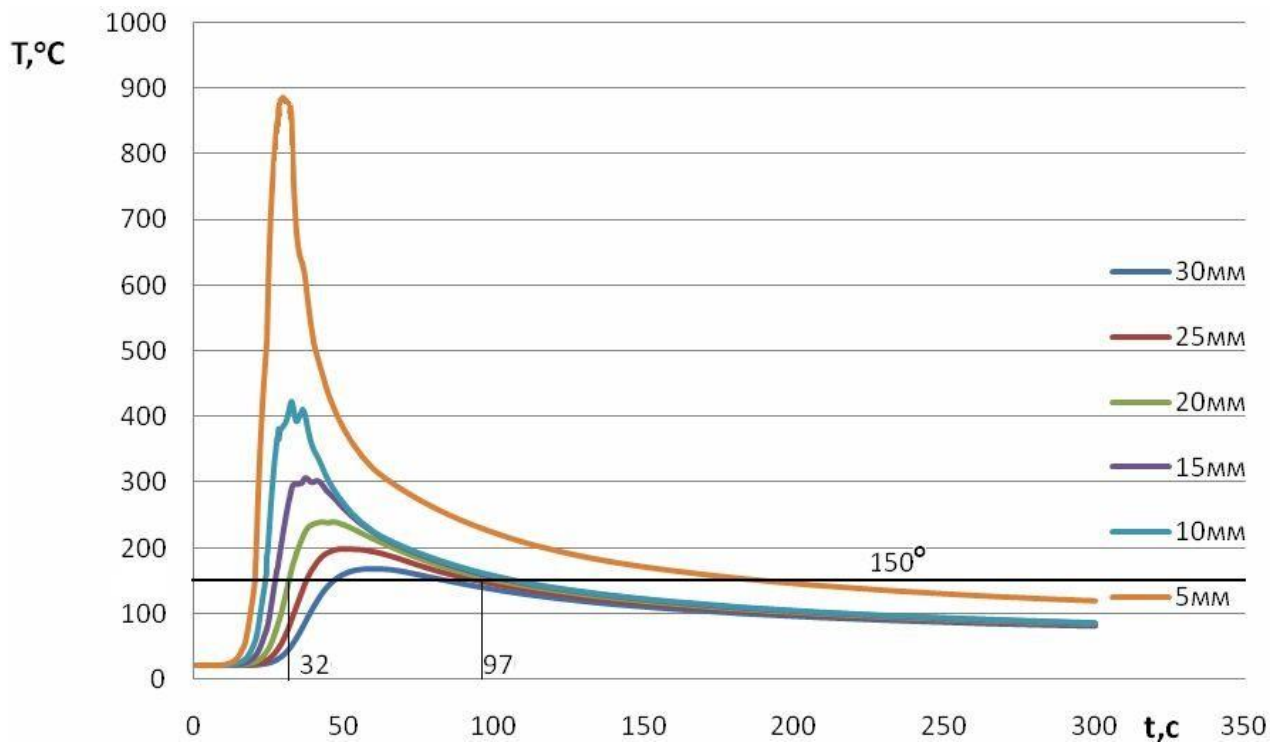


Рисунок 3.11 – Термограми зон взаємного підігрівання швів, які виконуються з різною відстанню b на дублюючих накладках

Через нерівномірний розподіл тепла в об'ємі рами виникають напруження σ , які мають різну величину та знак. Максимальні пікові значення цих напружень показано на рисунку 3.12.

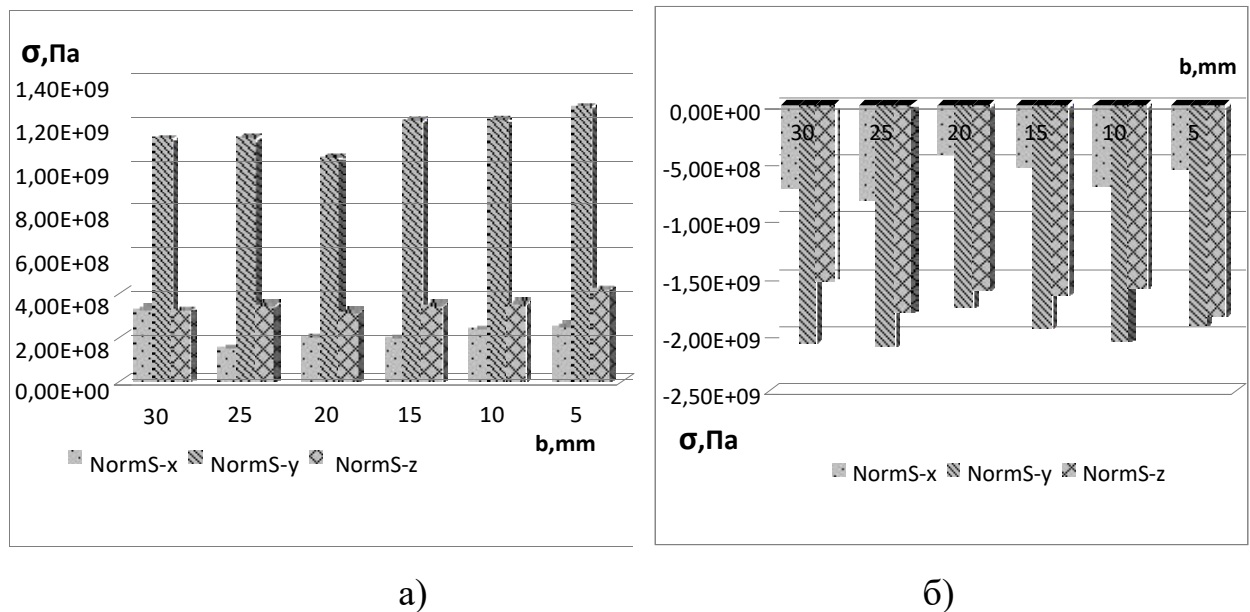


Рисунок 3.12 – Піки поточних значень напружень по осях x , y , z розтягу (а) і стиску (б)

Коли внутрішні напруження в матеріалі перевищують межу текучості, заготовка повністю пластично деформується. Деформації рами, що погіршуються внаслідок приварювання елементів підсилення, залежно від відстані b м

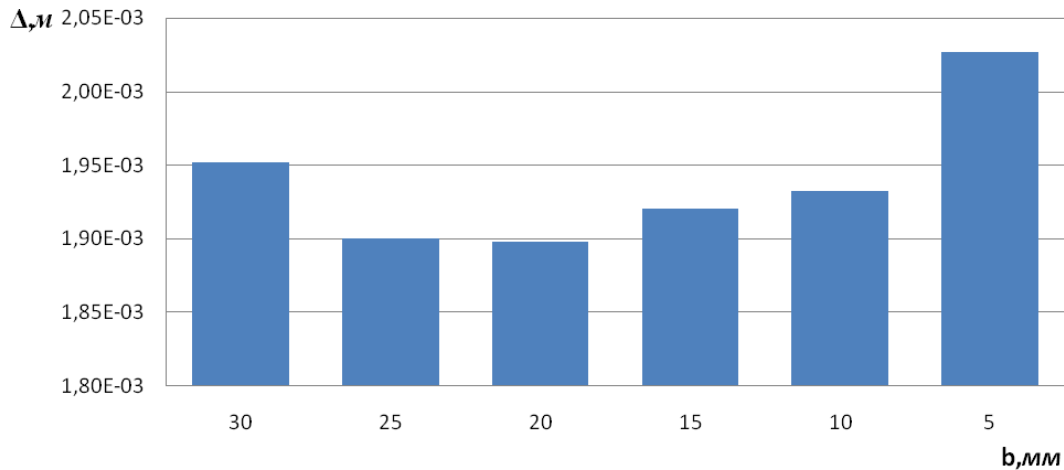


Рисунок 3.13 – Піки поточних деформацій

З рисунка 3.13 видно, що оптимальна відстань між зварними швами, яка мінімізує деформації конструкції під час зварювання, становить 20–25 мм. Для подальших досліджень була обрана відстань між паралельними швами накладок, приварених з обох сторін рами, яка дорівнює $b = 20$ мм.

Для вибраної конструкції розроблено технологічний процес монтажу підсилювальних накладок. Цей процес передбачає виконання коротких швів (1–6) у шаховому порядку з обох сторін рами (рисунок 3.14). Починати та завершувати зварювання рекомендовано на ділянках профілю, розташованих уздовж рами, де ризик утворення тріщин є мінімальним.

Згідно з нашими розрахунками, температура в зоні накладання чергового шва повинна становити 150 °С. Період, протягом якого ця температура підтримується в точці початку наступного кроку паралельного шва при відстані між швами $b = 20$ мм, визначений за рисунком 3.11 і становить 65 секунд.

З цього часу 35 секунд необхідно для зміни місця зварювання, а 30 секунд відводиться на виконання окремої ділянки шва. При швидкості зварювання 9 м/год довжина цієї ділянки шва складе 75 мм.

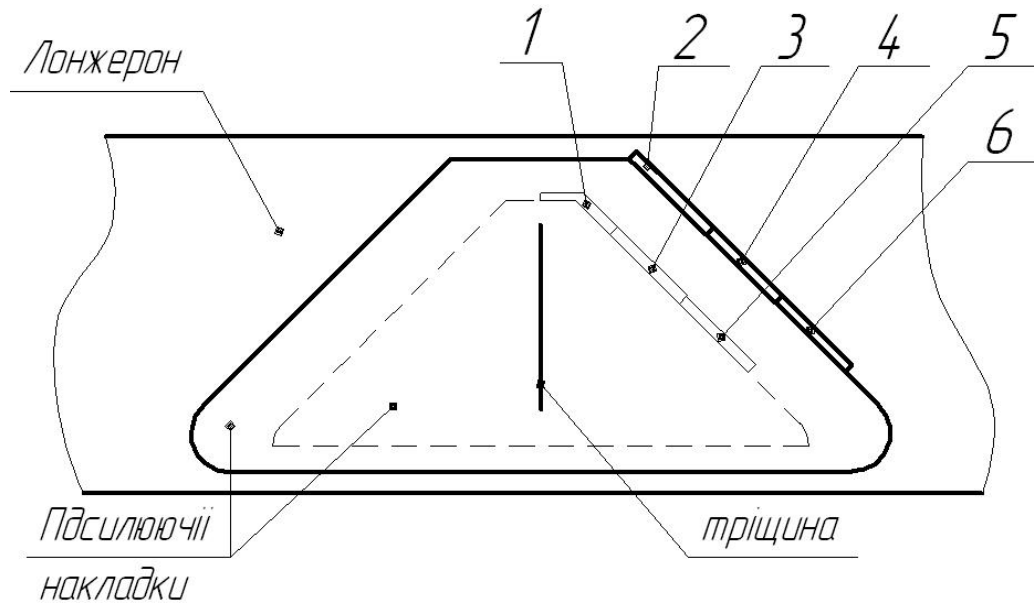


Рисунок 3.14 – Схема встановлення підсилювальних накладок: 1 – 6 – послідовність виконання зварних швів

Застосування зазначеної методики для зварювання дало змогу знизити поточні напруження на 15% і деформації на 12%. На наступному етапі розв'язувалася задача мінімізації температурних перепадів, які спричиняють локальні теплові напруження, що перевищують межі міцності матеріалу та створюють ризик виникнення мікротріщин. Досягти цього можна не лише шляхом зменшення тепловкладення в деталь під час визначення режимів зварювання і вирівнювання розподілу тепла за об'ємом, розробляючи відповідну послідовність накладання швів, але й завдяки зміні форми та розмірів підсилювальних елементів. Дослідження виявили найбільшу концентрацію напружень у місцях стику, де зварний шов змінює напрям під гострим кутом; тому рекомендується округлювати ці ділянки (див. рис. 3.14).

3.2.3. Вплив радіуса заокруглення кутів підсилювальних елементів на напружено-деформований стан (НДС) лонжерона рами

Підсилювальні елементи найчастіше мають форму прямокутників, паралелограмів або інших чотирикутників із прямолінійними сторонами. Аналіз наукових досліджень та практичних випадків руйнування рамних конструкцій свідчить, що повторні руйнування найчастіше виникають у місцях приварювання накладок, де тріщини починаються від гострих кутів підсилювальних елементів. Окрім того, під час зварювання накладки процес доводиться переривати біля

кожного з її кутів, що спричиняє збільшення кількості пор та включень – додаткових концентраторів напружень і потенційних зародків тріщин.

Для обґрунтування рекомендацій щодо оптимальної форми підсилювальних накладок було проведено моделювання термонапруженого стану під час зварювання накладок з різними радіусами заокруглення кутів. Метою моделювання було визначення зон із найвищою концентрацією напружень.

На рисунку 3.15 наведено результати моделювання для накладок із заокругленими гострими кутами. Дослідження показали, що використання накладок із гострими кутами призводить до значного підвищення температури в їхніх кутах порівняно з випадками, коли кути мають радіус заокруглення понад 15 мм.

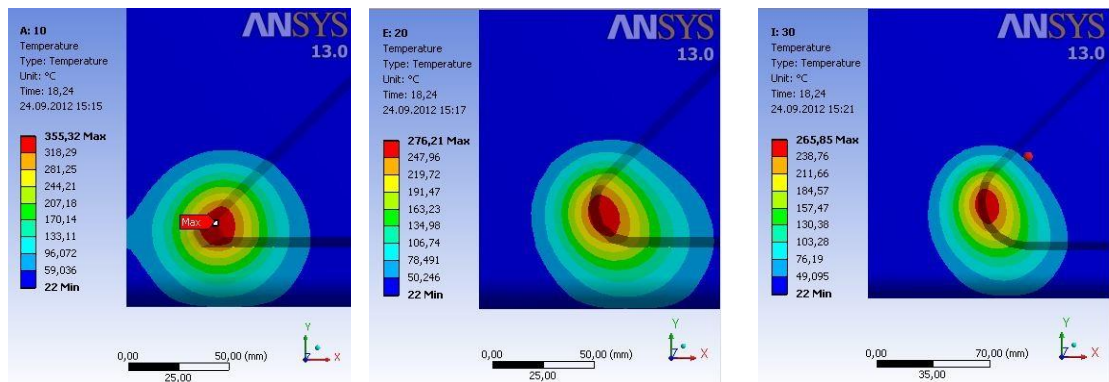


Рисунок 3.15 – Розподіл температурного поля за об’ємом рами з різними округленнями контуру накладки

Дослідження також показали, що застосування накладок із контурами з малими радіусами заокруглення спричиняє підвищену нерівномірність розподілу напружень і деформацій (див. рис. 3.16, 3.17). Водночас використання плавних переходів у вигляді заокруглень забезпечує більш рівномірний розподіл напружень і деформацій по об’єму заготовки, зменшуючи таким чином концентратори напружень.

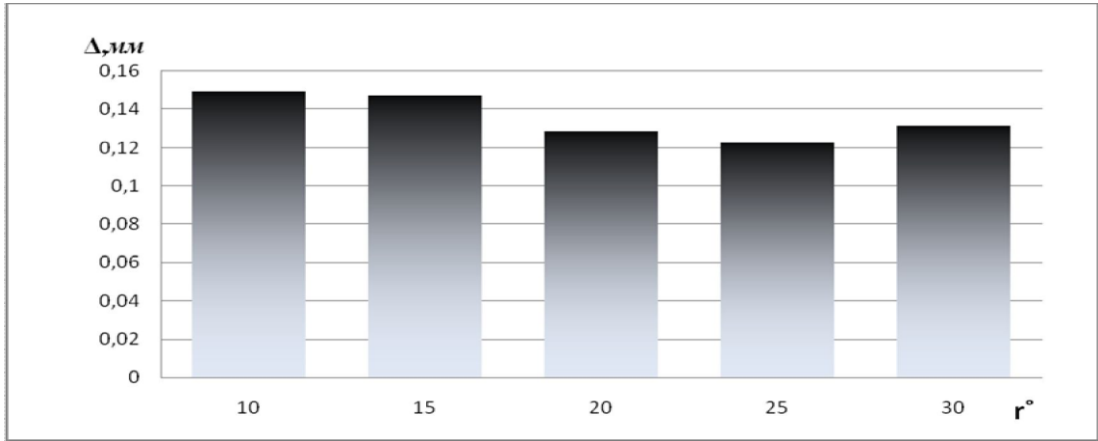


Рисунок 3.16 – Розподіл поля деформацій для контурів накладок з різними радіусами округлень

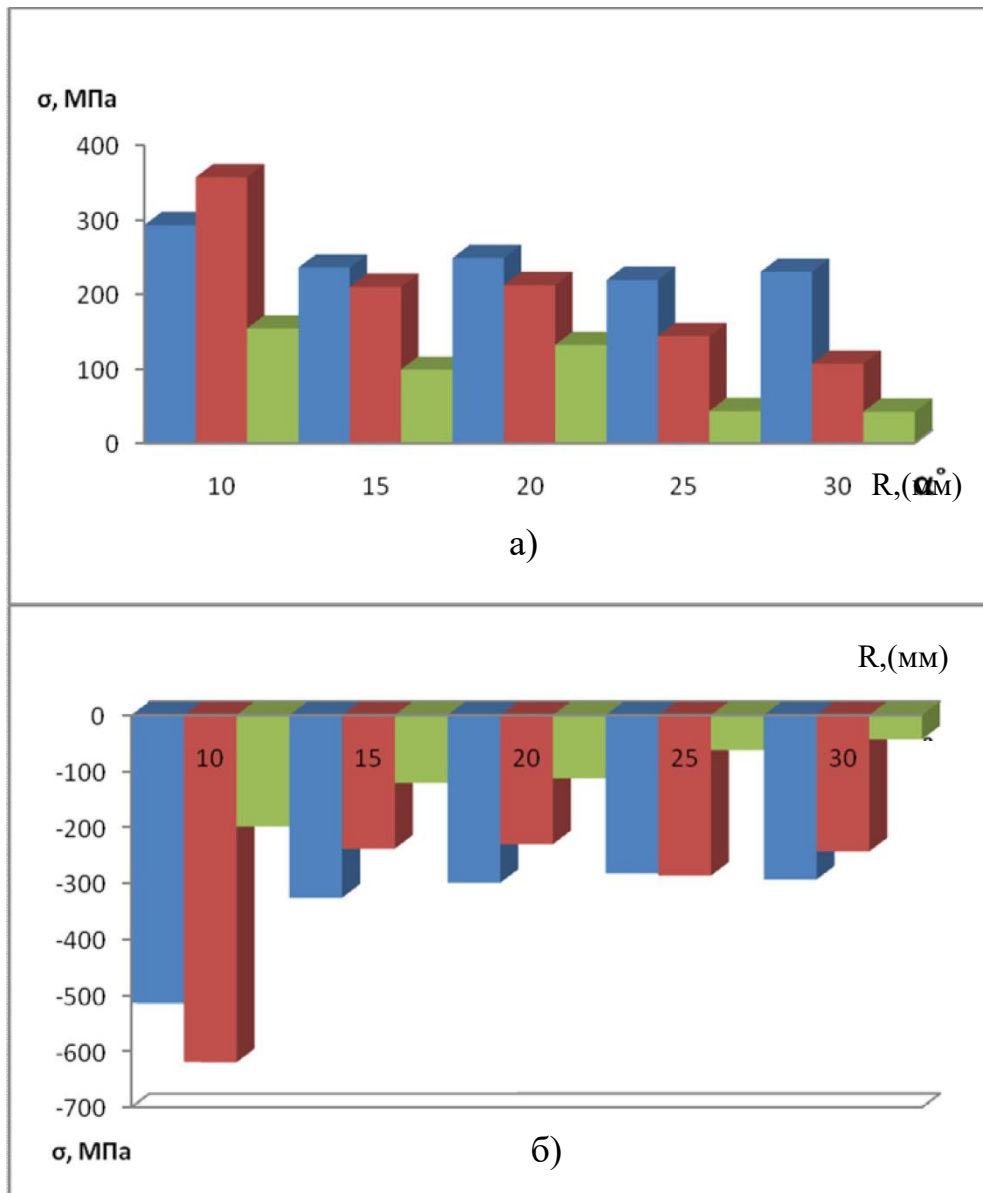


Рисунок 3.17 – Максимальні напруження в матеріалі рами в результаті приварювання накладок за осями x, y, z:

а) розтягу; б) стиску

Аналіз діаграм напружень показав, що збільшення радіуса заокруглення контуру підсилювального елемента до 15 мм суттєво знижує рівень напружень і деформацій, тоді як подальше збільшення радіуса має незначний вплив. Отже, можна зробити висновок, що оптимальним є заокруглення гострих кутів контурів підсилювальних елементів із радіусом у межах 15–20 мм. Це дозволяє зменшити поточні деформації приблизно на 10%, а напруження — майже вдвічі.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці – це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на створення безпечних умов, збереження здоров'я та працездатності людини в процесі праці.

Охорона праці в нашій країні ґрунтується в подальшому на полегшенні і оздоровленні умов праці на основі механізації і автоматизації тяжких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів техніки безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників і службовців, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Україна у своїй політиці в галузі охорони праці виходить з пріоритету життя і здоров'я працюючих по відношенню до результатів виробничої діяльності підприємств. Держава ставить перед власниками підприємств, організацій завдання по створенню сприятливих та безпечних умов праці, недопущення нещасних випадків на виробництві, професійних захворювань, зведення до мінімуму впливу на працівників шкідливих та небезпечних факторів матеріально-виробничого середовища та персональну відповідальність за їх виконання.

Зварювальні роботи відносяться до категорії особливо небезпечних як для самого зварника, так і для людей, що знаходяться в безпосередній близькості. Тому дуже важливо дотримання техніки безпеки при підготовці та проведенні будь-яких видів зварювальних робіт.

Існує ряд несприятливих факторів, здатних викликати порушення здоров'я при зварюванні:

- Можливість ураження електричним струмом.
- Пошкодження очей і поверхні шкіри в результаті впливу випромінювання електричної зварювальної дуги.
- Попадання на тіло побічних продуктів зварювання і бризок розплавленого металу.
- Поразка дихальних органів отруйними випарами і газами.

- Висока ймовірність виникнення пожежі в зв'язку з сильним розігрівом задіяних в робочому процесі конструкцій.
- Небезпека вибуху використовуваних газових балонів.
- Отримання механічних травм.

4.1. Підготовка до проведення робіт

З огляду на перелічені вище можливі ускладнення при виконанні зварювальних робіт, надзвичайно важливо виконати всі доступні запобіжні заходи:

- перевірка готовності електричної мережі до безаварійного підключення наявного зварювального обладнання;
- підтвердження цілісності ізоляційних покриттів силових проводів і наявності надійного заземлення;
- виявлення несправностей зварювальної установки, супутніх механізмів і пристосувань;
- організація зручного доступу до місця зварювання і безперешкодного переміщення навколо нього;
- перевірка роботи вентиляційної системи або забезпечення умов для вільної циркуляції повітря.

4.2. Захист органів зору

Негативний вплив випромінювання електричної зварювальної дуги на сітківку ока вважається загальновідомим фактом і є приводом для підвищеної уваги всіх учасників зварювального процесу. Також це стосується напарників, які часто залучаються при виконанні складних і нестандартних робіт.

Для захисту очей і обличчя використовуються зварювальні маски, захисні окуляри і спеціальні щитки. Популярним і поширеним засобом захисту органів зору при проведенні робіт є зварювальна маска хамелеон, що відрізняється різноманітністю регулювань і зручністю налаштувань. Звичайно, можна використовувати і прості маски, але професійні засоби і інструменти вважаються більш ефективними і надійними за всіма параметрами, тому економити на своєму здоров'ї не потрібно.

Якщо функції вашого напарника обмежуються лише підготовчими заходами для виконання основних робіт, цілком ймовірно, що маска зварника стане для нього надмірним аксесуаром. У таких ситуаціях добре підійдуть захисні окуляри.

4.3. Захист дихальних органів

Оскільки виникнення летючих отруйних речовин при проведенні зварювальних робіт відноситься до стандартних наслідків, турбота про органи дихання є не менш важливою темою, ніж попередня.

Надійним елементом для захисту органів дихання вважається респіратор, який зручно одягати під маску зварника. На практиці добре зарекомендували себе респіратори з вуглецевим покриттям. Вони захищають органи дихання від зварювального диму, аерозолів, пилу та органічних запахів нижче гранично допустимих концентрацій. Наявність клапанів видиху полегшує дихання і дозволяє успішно застосовувати такі респіратори при підвищених температурах.

4.4. Захист від опіків

Кращий захист від попадання бризок розплавленого металу або контакту з розпеченими поверхнями надає спецодяг зварника. Область рук добре захищають краги, для інших частин тіла ефективні спеціальні куртки, костюми, комбінезони, штани, а на ноги прийнято взувати черевики зварника. Весь спецодяг повинен підходити за розміром, бути зручним і справним. Дотримання цих умов допоможе виконати заплановану роботу максимально продуктивно і безпечно.

4.5. Проектування логічно-імітаційної моделі виникнення травм в процесі відновлення рамних конструкцій

Під час процесу формування та виникнення небезпек, виробничих аварій чи травм окремі випадкові події, що формують аварійну чи травмонебезпечну ситуацію, зв'язані між собою наслідко-причинними зв'язками. Ці зв'язки характеризують кінцеві, проміжні та початкові події.

Початкові події (небезпечні умови, небезпечні дії) обстежують у процесі дослідження об'єктів виробництва, а кінцеві і проміжні входять до схеми чи основі аналізу окремих варіантів перебігу подій.

Процес побудови логічно-імітаційної моделі полягає в наступному. За присутності домінуючої події (явища) – травми через дотик ділянки тіла до глушника розпочинається побудова моделі (“дерева подій”). За допомогою операторів “і” чи “або”, здійснюють аналіз набору ситуацій, які можуть визначити головну подію.

Визначають травмонебезпечні ситуації, а також їх множину, що можуть бути присутніми в процесі. Встановлюють ще й другі події, що містяться в кожній такій ж ситуації, завдяки логічному аналізу із використанням операторів. Процес побудови моделі продовжується до того моменту, поки не будуть виявлені основні базові події, які характеризують межу моделі. Наприклад, подія базова “ контроль стану з охорони праці”. Для розрахунку імовірності потрібно встановити, наскільки (у процентах) від ідеального рівня проводиться відповідний контроль на конкретному об’єкті. Якщо буде виявлено, що такий рівень перевірки рівний 20% або 30%, то імовірність складає 0,2 і 0,3.

Після визначення ймовірності усіх подій, встановлених у ромбах, а також базових подій, розпочинаючи з лівої крайньої гілки “дерева”. Надалі позначають номерами випадкові події, які входять до моделі (рис. 4.1).

Розроблена логіко-імітаційна модель процесу становлення та виникнення травм і аварій буде вміщувати базові події з конкретним значенням імовірності його появи (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Значення імовірностей випадкових подій

№ п/п	Назва події	Ймовірність
1.	Стан контролю з охорони праці	$P_1 = 0,3$
2.	Професійний рівень зварювальника	$P_2 = 0,25$
3.	Досвід оператора	$P_4 = 0,15$
4.	Стан контролю з охорони праці	$P_5 = 0,05$
5.	Стан зварювальника	$P_6 = 0,2$
6.	Досвід роботи	$P_{7.1} = 0,15;$

Розглянемо травмонебезпечну ситуацію, що виникає за умови травмування руки зварювальника, а також розраховуємо ймовірності виникнення подій, які формують логіко-імітаційну модель цього травмування і призводить до травми (рис. 4.1).

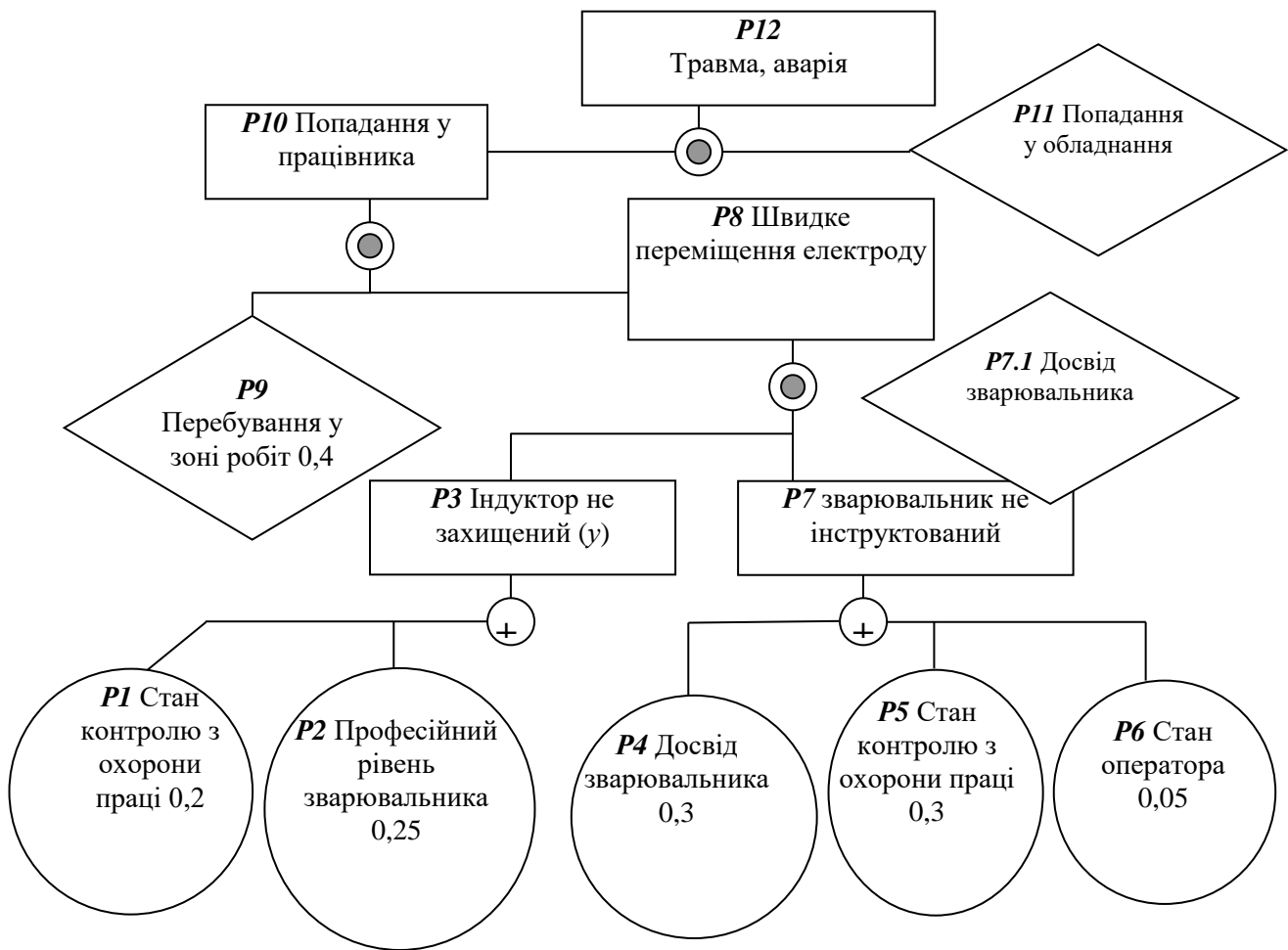


Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель появи та формування аварій і травм в процесі зварювання накладки до рами (матриця логічних взаємозв’язків окремих подій травмонебезпечної ситуації)

Імовірність появи подій $P_3 - P_{12}$ розраховують за відомими формулами булевої математика, які відображають імовірності появи чи неяви травмонебезпечних подій. За розрахунками імовірність появи травми оператора в процесі експлуатації індуктора становить $P_{12} = 0,000025$. Іншими словами, на 100 аналогічних робочих місць може статися приблизно 0,0025 травм. Тобто імовірність настання травм є суттєво низькою для індуктора.

Таким чином, дослідження травмувань і аварійності за принципом “логіко-імітаційної моделі”, а також обґрунтування заходів з безпеки праці, уможливають зниження ймовірності появи аварійних чи настання травмонебезпечних ситуацій.

4.6. Безпека в надзвичайних ситуаціях

На території приміщень, де проходять операції зі зварювання рамних конструкцій можуть виникнути небезпечні природні явища і процеси геологічного, гідрогеологічного, а також метеорологічного походження. До таких належать сильні зливи чи град, урагани, снігопади та ожеледиця, буревії та ін.

Стихійні лиха появляються раптово і є надзвичайного характеру. Вони можуть привести до руйнування будівель, споруд, знищення цінностей, порушення процесу виробництва і суттєво зашкоджують людям. Стихійні явища, в багатьох випадках, виникають комплексно, що суттєво посилює їх негативну дію. Небезпечні природні явища, як правило, визначаються проявленням трьох груп факторів – гідрометеорологічних, екзогенних та ендегенних процесів.

Як техногенні надзвичайні ситуації, тобто ті, які можуть виникати у регіоні належать: транспортні аварії, аварії в процесі використання чи обслуговування техніки, обладнання, відмов у електричних підстанціях, стихії, пожежі тощо.

З метою реагування на вказані надзвичайні ситуації природного, техногенного характеру в країні функціонує Державна служба України з надзвичайних ситуацій.

Основними завданнями цієї служби є: виконання заходів державної політики з захисту цивільного населення, а також територій від наслідків надзвичайних ситуацій, попередження їх виникнення, усунення негативних явищ надзвичайних ситуацій тощо.

Вказана служба з надзвичайних ситуацій реалізує багато завдань стосовно керівництва роботою єдиної державної системи цивільного захисту; розробляє проекти планів в плані цивільного захисту, подає їх Міністрові внутрішніх справ України для пізнішого представлення Кабінету Міністрів України, планує заходи цивільного захисту як для центральних, так і для місцевих органів виконавчої влади; своєчасно підготовляє структури управління функціональних та територіальних підсистем існуючої державної системи з цивільного захисту населення та їх структурних підрозділів до кваліфікованих і швидких дій у випадку виникання надзвичайних ситуацій; також служба разом з окремими органами та частинами цивільного захисту, місцевими органами влади здійснює контроль за зазначеними

спорудами до використання за функціональним призначенням; виконує заходи щодо втілення інженерно-технічних заходів цивільного, хімічного і радіаційного захисту, узагальнює та контролює заходи із захисту населення та територій у випадку появи радіаційної небезпеки та надзвичайних ситуацій, які є наслідком викиду небезпечних хімічних речовин тощо.

РОЗДІЛ 5. ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕМОНТУ КОНСТРУКЦІЙ РАМ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Під час експлуатації на найбільш навантажених ділянках рамних конструкцій транспортних засобів часто виникають тріщини та інші пошкодження. Основними способами усунення таких дефектів є заміна рами або її ремонт за допомогою зварювання та підсилення.

Проведемо економічний аналіз доцільності заміни рами порівняно з ремонтом лонжеронів шляхом зварювання тріщин та подальшого підсилення різними методами.

Вартість ремонту із заміною рами $C_{зам}$ розраховується за формулою:

$$C_{зам} = C_p + C_{с.р.} + C_{док}, \quad (5.1)$$

де C_p – ціна рами;

$C_{с.р.}$ – вартість слюсарних робіт;

$C_{док}$ – вартість переоформлення в органах державної реєстрації.

Орієнтовна вартість рами для автомобіля великої вантажопідйомності становить 25 000 грн. Середня ринкова ціна слюсарних робіт, що включають очищення, демонтаж дефектної рами, установку нової та часткової заміни кріпильних елементів, становить 12 652 грн. Додатково витрати на переоформлення в органах державної реєстрації становить

$$C_{зам} = 25000 + 12652 + 1536 = 39188(\text{грн}).$$

Вартість ремонту рами без її заміни, яка виробляється шляхом зварювання тріщин і підсилення пошкодженої ділянки визначається з виразу

$$C_{рем} = C_{ус.тр} + C_{підс}, \quad (5.2)$$

де $C_{ус.тр}$ – вартість усунення тріщини зварюванням;

$C_{підс}$ – вартість підсилення.

Вартість усунення тріщини за допомогою зварювання $C_{ус.тр}$ складається з витрат на такі операції: забезпечення доступу до місця зварювання $C_{заб.д.}$, очищення та обробку крайок тріщини $C_{розр.кр.}$, а також зварювання тріщини $C_{зв.тр.}$.

$$C_{ус.тр} = C_{заб.д.} + C_{розр.кр.} + C_{зв.тр.} \quad (5.3)$$

Вартість операцій для забезпечення доступу до місця зварювання залежить від розташування ділянки з тріщиною і може досягати 350 грн. Прийнято значення $C_{з.д.} = 350$ грн.

Вартість очищення та підготовки крайок тріщини залежить від її довжини $L_{тр}$ і становить 200 грн/м.п.. Вартість зварювання тріщини складає 440 грн/м.п.. Довжина тріщини, підготовленої для зварювання, становить $L_{тр} = 0,185$ м.

$$C_{ус.мр} = 350 + 200 \cdot 0,185 + 440 \cdot 0,185 = 468,4 \text{ (грн).}$$

Підсилення пошкодженої ділянки рами здійснюється шляхом встановлення накладок. Форма накладки, метод підсилення, склад матеріалів і техніка виконання основних операцій значно впливають на ресурс відремонтованої конструкції.

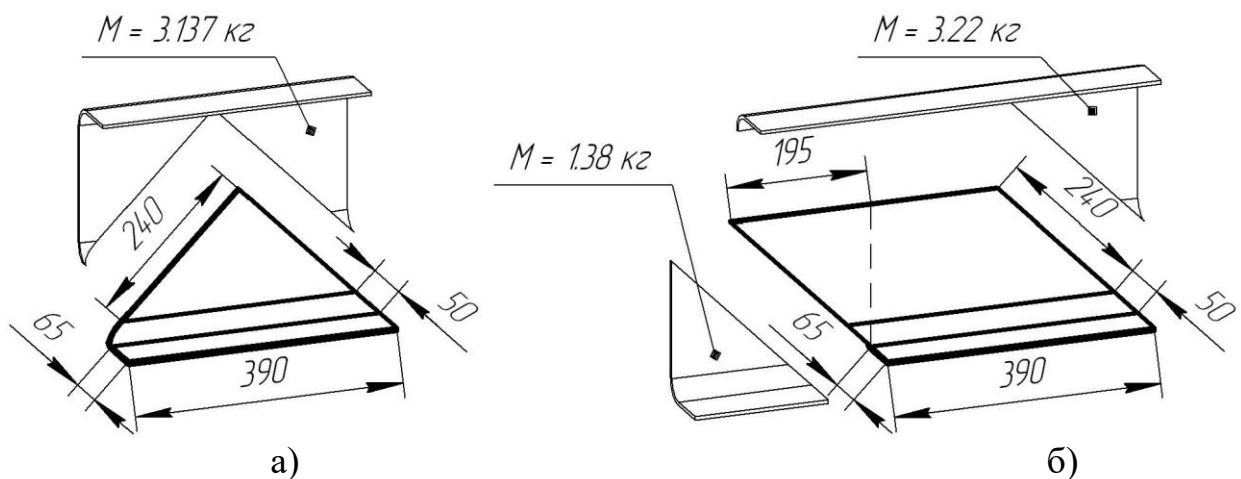
Розглянемо декілька варіантів конструктивного виконання накладок для підсилення та технологій їх встановлення:

1. Трикутна накладка (рис. 5.1 а). Накладку вирізають у формі трикутника і обварюють по контуру. Ресурс рами, відремонтованої таким способом, становить 816×10^6 циклів, що складає 35% ресурсу нової рами.

2. Паралелограмна накладка (рис. 5.1 б). Накладку виготовляють у формі паралелограма і також обварюють по контуру. Ресурс рами, відремонтованої таким способом, не досліджувався.

3. Трапецевидна накладка (рис. 5.1 в). Для цього варіанта використовують трапецевидну накладку, а зварювання виконується за запропонованою технологією із супутнім паянням. Ресурс рами, відремонтованої таким способом, досягає 1867×10^6 циклів, що становить 79% ресурсу нової рами.

Товщина стінки прокату, з якого виготовлялися накладки для підсилення, дорівнює 5 мм.



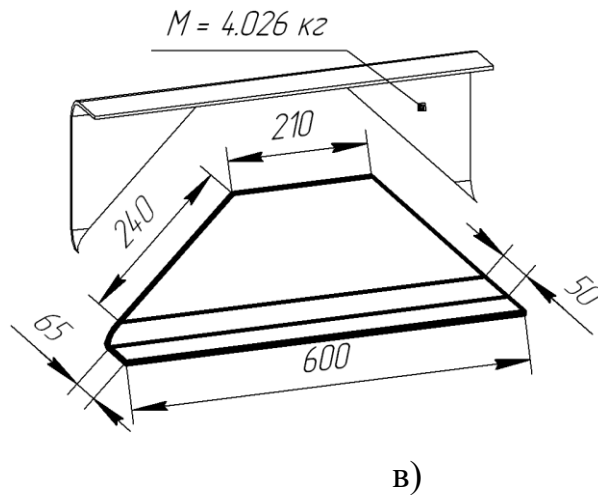


Рисунок 5.1 – Накладка для підсилення у формі трикутника (а) та у формі паралелограма (б), у формі трапеції (в) і відходи після виготовлення

Здійснимо економічний порівняльний аналіз вище зазначених варіантів підсилення лонжерона рами, ціна яких складається з ціни накладок для підсилення і ціни на встановлення:

$$C_{\text{підс}} = C_{\text{дет}} + C_{\text{вст}}, \quad (5.4)$$

де $C_{\text{дет}}$ – ціна виготовлення накладок;

$C_{\text{вст}}$ – ціна на встановлення накладки.

Накладки для підсилення виготовляють вирізуванням з прокату.

В загальному випадку собівартість виготовлення накладок можна визначити наступним чином:

$$C_{\text{дет}} = C_{\text{заг}} + C_{\text{мех}} - C_{\text{лом}} + B_{\text{н}}, \quad (5.5)$$

де $C_{\text{заг}}$ – ціна заготовки;

$C_{\text{мех}}$ – грошові затрати на механічну обробку;

$C_{\text{лом}}$ – ціна залишкового після механічної обробки матеріалу;

$B_{\text{н}}$ – затрати на накладні витрати.

Ціна заготовки, отриманої вирізуванням з прокату розраховуємо за виразом:

$$C_{\text{заг}} = C_{1\text{м}} \cdot l_{\text{заг}}(\text{грн}), \quad (5.6)$$

де $C_{1\text{м}}$ – ціна одного метра заготовки із вигнутого швеллера № 30 за ДСТУ 78281-80, складає 246.54 грн/м.п.;

$l_{\text{заг}}$ – довжина заготовки.

$$C_{\text{заг}1} = 246,54 \cdot 0,39 = 96,15(\text{грн});$$

$$C_{\text{заг}2} = 246,54 \cdot 0,585 = 144,23(\text{грн});$$

$$C_{зак3} = 246,54 \cdot 0,6 = 147,92(\text{грн}).$$

Грошові затрати на механічну обробку розраховуємо за виразом:

$$C_{мех} = C_{відр} + C_{оч}. \quad (5.7)$$

Витрати на механічну обробку включають витрати на фрезерні (відрізні) операції $C_{відр}$ та очисні операції $C_{оч}$, які орієнтовно становлять 46 грн/м.п. і 24 грн/м.п. відповідно.

Довжина торців, що підлягають механічній обробці, визначається за даними рисунка 1 і становить:

$$l_{відр1} = (0,065 + 0,05 + 0,24) \cdot 2 = 0,71(\text{м}),$$

$$l_{відр2} = (0,065 + 0,05 + 0,24) \cdot 2 + 0,39 = 1,1(\text{м}),$$

$$l_{відр3} = (0,065 + 0,05 + 0,24) \cdot 2 + 0,21 = 0,92(\text{м}),$$

$$l_{оч1} = (0,065 + 0,05 + 0,24) \cdot 2 + 0,39 = 1,1(\text{м}),$$

$$l_{оч2} = (0,065 + 0,05 + 0,24) \cdot 2 + 0,39 \cdot 2 = 1,49(\text{м}),$$

$$l_{оч3} = (0,065 + 0,05 + 0,24) \cdot 2 + 0,21 + 0,6 = 1,52(\text{м}).$$

Загальні витрати на механічну обробку становитимуть:

$$C_{мех1} = 0,71 \cdot 46 + 1,1 \cdot 24 = 59,06(\text{грн});$$

$$C_{мех2} = 1,1 \cdot 46 + 1,49 \cdot 24 = 86,36(\text{грн});$$

$$C_{мех3} = 0,92 \cdot 46 + 1,52 \cdot 24 = 78,8(\text{грн}).$$

Частина залишеного після механічної обробки прокату визначає масу відходів (рис.1).

Ціна матеріалу, що йде у відходи, розраховуємо за виразом:

$$C_{лом1} = \frac{C_{лом1т}}{1000} M_{лом}(\text{грн}), \quad (5.8)$$

де $C_{лом1т}$ – ціна однієї тонни лому, приймаємо $C_{лом1т} = 1600$ грн/т ;

$M_{лом}$ – маса лому, що отримана із всіх операцій механічної обробки.

$$C_{лом1} = \frac{1600}{1000} \cdot 3,137 = 5,02(\text{грн}),$$

$$C_{лом2} = \frac{1600}{1000} \cdot 1,38 + 3,22 = 7,36(\text{грн}),$$

$$C_{лом3} = \frac{1600}{1000} \cdot 4,026 = 6,44(\text{грн}),$$

Накладні витрати включають затрати на утримання та модернізацію технологічного обладнання, оплату праці інженерного та допоміжного персоналу тощо. Зважаючи на складність виробничого процесу, розмір накладних витрат може досягати 400–500% від вартості матеріалу заготовки, що в даному випадку становить приблизно 350 грн.

Таким чином, собівартість виготовлення накладки для підсилення становитиме:

$$C_{\text{дем1}} = 96,15 + 59,06 - 5,02 + 350 = 500,19(\text{грн});$$

$$C_{\text{дем2}} = 144,23 + 86,36 - 7,36 + 350 = 573,23(\text{грн});$$

$$C_{\text{дем3}} = 147,92 + 78,8 - 6,44 + 350 = 570,28(\text{грн}).$$

Встановлення накладок на ушкоджену ділянку рами.

Собівартість встановлення накладки включає: вартість витратних матеріалів $C_{\text{в.м.}}$, зварювальних $C_{\text{зв.р}}$ та слюсарних $C_{\text{с.р.}}$ робіт:

$$C_{\text{вст}} = C_{\text{в.м.}} + C_{\text{с.р.}} + C_{\text{зв.р.}} \quad (5.9)$$

Вартість витратних матеріалів для першого та другого способу ремонту визначається масою електродного матеріалу $M_{\text{е.м.}}$, використаного під час встановлення. У третьому способі вона розраховується за сумарною масою електродного $M_{\text{е.м.}}$ та паяльного матеріалу ($M_{\text{п.м.}}$):

$$C_{\text{в.м.1,2}} = M_{\text{е.м.}} \cdot C_{\text{е.м.}}, \quad (5.10)$$

$$C_{\text{в.м.3}} = M_{\text{е.м.}} \cdot C_{\text{е.м.}} + M_{\text{п.м.}} \cdot C_{\text{п.м.}}, \quad (5.11)$$

де $C_{\text{е.м.}}$ – ціна електродів, яка складає $C_{\text{е.м.}} = 35$ грн/кг,

$C_{\text{п.м.}}$ – ціна паяльного матеріалу, яка складає $C_{\text{п.м.}} = 265$ грн/кг,

$$M_{\text{е.м.}} = l_{\text{зв.ш.}} \cdot P_{\text{зв}}, \quad (5.12)$$

де $l_{\text{зв.ш.}}$ – сумарна довжина зварювальних швів,

$P_{\text{зв}}$ – погонна витрата зварювального матеріалу з катетом 5 мм, яка складає $P_{\text{зв}} = 0,253$ кг/м.

$$M_{\text{п.м.}} = l_{\text{зв.ш.}} \cdot P_{\text{п}}, \quad (5.13)$$

де $P_{\text{п}}$ – погонна витрата матеріалу для паяння, яка складає $P_{\text{п}} = 0,042$ кг/м (при перерізі смужки припою на основі міді 5×1 мм);

Отже, маса витратних матеріалів складає для різних варіантів ремонту:

$$M_{\text{е.м.1}} = ((0,065 + 0,05 + 0,24) \cdot 2 + 0,390) \cdot 0,253 = 0,278(\text{кг});$$

$$M_{\text{е.м.2}} = ((0,065 + 0,05 + 0,24) \cdot 2 + 0,39 \cdot 2) \cdot 0,253 = 0,38(\text{кг});$$

$$M_{e.m.3} = ((0,065 + 0,05 + 0,24) \cdot 2 + 0,21 + 0,6) \cdot 0,253 = 0,39(\text{кг});$$

$$M_{n.m.} = ((0,065 + 0,05 + 0,24) \cdot 2 + 0,390 + 0,6) \cdot 0,042 = 0,072(\text{кг}).$$

Вартість витратних матеріалів за варіантами складає:

$$C_{в.м.1} = 0,278 \cdot 35 = 9,74(\text{грн});$$

$$C_{в.м.2} = 0,38 \cdot 35 = 13,19(\text{грн});$$

$$C_{в.м.3} = 0,39 \cdot 35 + 0,064 \cdot 265 = 30,38(\text{грн}).$$

Обсяг слюсарних робіт для обох способів встановлення елементів підсилення є приблизно однаковим. Він включає часткове розбирання та збирання ремонтуємої ділянки рами, її очищення, підготовку до зварювання, фіксацію накладки перед зварюванням та зачистку зварних швів після завершення робіт. Орієнтовна вартість слюсарних робіт складає $C_{с.р.} = 100$ грн.

Оплата зварювальних робіт визначається довжиною зварних швів:

$$C_{зв.р.} = l_{зв.ш.} \cdot C_{зв1м}, \quad (5.14)$$

де $C_{зв1м}$ – ціна зварювання, яка становить $C_{зв1м} = 440$ грн/м;

$$C_{зв.р.1} = 1,1 \cdot 440 = 484(\text{грн});$$

$$C_{зв.р.2} = 1,49 \cdot 440 = 655,6(\text{грн});$$

$$C_{зв.р.3} = 1,52 \cdot 440 = 668,8(\text{грн}).$$

Собівартість встановлення накладки складає:

$$C_{вст1} = 9,74 + 100 + 484 = 593,74(\text{грн});$$

$$C_{вст2} = 13,19 + 100 + 655,6 = 768,79(\text{грн});$$

$$C_{вст3} = 30,38 + 100 + 668,8 = 799,18(\text{грн}).$$

Отже собівартість підсилення пошкодженої ділянки рами шляхом заварювання накладки складає:

$$C_{нідс1} = 593,74 + 500,19 = 1093,93(\text{грн});$$

$$C_{нідс2} = 768,79 + 573,23 = 1342,02(\text{грн});$$

$$C_{нідс3} = 799,18 + 570,28 = 1369,46(\text{грн}).$$

Загальна ціна ремонту рами без її заміни, що включає заварювання тріщин та підсилення відновлюваної ділянки рами накладками, становить:

$$C_{рем1} = 1093,93 + 468,4 = 1562,33(\text{грн});$$

$$C_{рем2} = 1342,02 + 468,4 = 1810,42(\text{грн});$$

$$C_{рем3} = 1369,46 + 468,4 = 1837,86(\text{грн}).$$

На основі отриманих даних здійснимо порівняння економічної доцільності ремонту рами автомобіля різними методами. Вартість заміни рами для автомобіля великої вантажопідйомності становить 39 188 грн, що суттєво перевищує витрати на ремонт шляхом заварювання тріщини та підсилення ушкодженої ділянки різними способами.

Розрахунки показують, що собівартість ремонту заварюванням тріщини та підсиленням накладкою у формі трикутника, виконаного за загальновідомими методами, є найнижчою (1562,33 грн) порівняно з підсиленням накладкою у формі паралелограма (1810,42 грн) та трапецевидною накладкою із застосуванням технології зварювання із супутнім паянням (1837,86 грн). Хоча витрати на підсилення накладками у вигляді паралелограма та трапецевидної накладки майже однакові, функціональний аналіз демонструє переваги трапецевидної накладки.

Попередні дослідження підтвердили, що спосіб ремонту значно впливає на відновлений ресурс рами автомобіля. Якщо прийняти ресурс нової рами за 100% (приблизно 250 000 км пробігу для автомобілів вітчизняного виробництва та 1 000 000 км для іноземного), то відремонтована рама забезпечує:

- 35% ресурсу при використанні першого варіанту ремонту,
- 79% ресурсу при використанні третього варіанту.

Однак, під час ремонту рами без її заміни існує ризик пошкоджень на інших ділянках. Тому було здійснено перерахунок вартості всіх варіантів ремонту на 1 км пробігу, що враховується у виробничій ставці пробігу (див. таблицю 5.1).

Таблиця 5.1 – Вартість ремонту на 1 км пробігу

Спосіб ремонту	Кількість ділянок рами з тріщиною						
	1	2	3	4	5	10	20
	Витрати на 1 км пробігу для автомобіля з ресурсом 250000 км						
Вар рем 1	0,0179	0,0357	0,0536	0,0714	0,0893	0,1786	0,3571
Вар рем 3	0,0093	0,0186	0,0279	0,0372	0,0465	0,0931	0,1861
Заміна	0,1568						
	Витрати на 1 км пробігу для автомобіля з ресурсом 1000000 км						
Вар рем 1	0,0045	0,0089	0,0134	0,0179	0,0223	0,0446	0,0893
Вар рем 3	0,0023	0,0047	0,0070	0,0093	0,0116	0,0233	0,0465
Заміна	0,0392						

За даними таблиці 1 можна стверджувати, що ремонт рами, який

відповідає варіанту 3 шляхом заварювання тріщини та підсилення ослабленої ділянки трапецевидною накладкою, яка реалізується запропонованою технологією зварювання із наступним паянням, є порівняно з іншими способами ремонту ефективнішим. Його доцільно робити навіть за наявності більше 10-ти пошкоджень.

ВИСНОВКИ

1. Для визначення розташування та розмірів ділянок рам транспортних засобів, де напруження можуть спричинити утворення тріщин, рекомендовано використовувати метод кінцево-елементного аналізу. Установлено, що обсяг матеріалу деталей, у яких виникають такі напруження, складає приблизно 12–14% від загального об'єму металу конструкції рами.

2. На основі проведеного комплексного аналізу типової рамної конструкції підтверджено можливість і доцільність ремонту рам транспортних засобів, пошкоджених наскрізними поперечними тріщинами.

3. Розроблено моделі в програмному середовищі кінцево-елементного аналізу, які дозволяють оптимально визначати параметри підсилювальних елементів. Для рам із лонжеронами швелерного типу доцільно використовувати трапецевидні накладки. Вони мають дублюватися, при цьому обидві накладки повинні мати однакову форму, але різні розміри, залежні від параметрів зон термічного впливу.

4. Експериментальні дослідження та аналіз у програмному середовищі кінцево-елементного аналізу дозволили оцінити теплові процеси під час ремонту рами, їхній вплив на поточні напруження та деформації. Розроблено методіку мінімізації цих напружень та деформацій на етапі розробки технологічного процесу ремонтного зварювання. Перевірка адекватності отриманих результатів показала похибку, що не перевищує 5%.

5. Використовуючи розроблену модель у середовищі програм кінцево-елементного аналізу, встановлено, що відстань між паралельними зварними швами дубльованих накладок повинна залежати від режимів зварювання та параметрів рамної конструкції транспортного засобу. Для досліджуваної конструкції лонжерона з товщиною стінки 8 мм рекомендовано накладати шви на відстані 20 мм.

6. Дослідження теплових процесів під час встановлення накладок на пошкоджених ділянках рами виявило концентрацію напружень у зоні гострих кутів підсилювальних елементів. Найбільш ефективними для зниження напружень та підвищення надійності є накладки із заокругленнями гострих кутів. Для досліджуваної конструкції радіус заокруглення повинен становити 15–20 мм.

7. Використання методики мінімізації напружень та деформацій під час розробки технологічного процесу ремонтного зварювання, що передбачає приварювання накладок короткими швами у шаховому порядку, дозволило знизити поточні напруження на 15%, а деформації – на 12%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Туревський І. С. Теорія автомобіля: навч. пос. К.: Вища шк., 2005. – 240 с.
2. А.Н. Познизовкін, Ю.М. Власко, М.Б. Ляліков. Короткий автомобільний довідник. К: АО "ТРАНСКОСАЛТИНГ". 1994. 779 с.
3. Гельфгат Д. Б. Рами вантажних автомобілів. – К.: Вища школа, 1959. – 234 с.
4. КрАЗ. Люди. Завод. Автомобілі. 2006. Режим доступу: http://www.dymz.ru/817-napryazheniya_v_lonzheronach.html.
5. Прокат із сталі нормальної, підвищеної та високої міцності ДСТУ 52927. 2008. 231 с.
6. Волченко В. Н., Макаров Е. Л., Шип В. В. Зварювання та зварювальні матеріали. Кривий Ріг.: Металургія, 1991. Т. 1. 526 с.
7. Довідник технолога авторемонтного виробництва / [під ред. Г.А. Малишева. К.: Транспорт, 1977. 432с.
8. Біргер І. А. Опір матеріалів: Навч. пос. К. : Наука, 1986. 560 с.
9. Біргер І. А. Міцність, стійкість, коливання. : К.: Машинобудування, 1968. Т.1. 832 с.
10. Власов В. З. Тонкостінні пружні стержні. К.: Фізмат, 1959. 200 с.
11. Горбунов Б. Н. Теорія рам з тонкостінних стержнів К. : Держвидав, 1948. 250 с.
12. Проскуряков В. Б. Ще один метод розрахунку автомобільних рам на кручення. Автомобільна промисловість. 1966. №5. С.25 – 28.
13. Garret T. K. Automobile dynamic loads. Automobile engineer. 1953. V.43, №563. – P.60 – 64.
14. Бичков Д. В. Будівельна механіка тонкостінних конструкцій. К. : Будвидав, 1962. 230 с.
15. Апанович Ю. Н. Автоматизований розрахунок і доводка конструкцій автомобільних рам. Динаміка і міцність. 1988. С. 28.
16. Веерманн Н. J. Static analysis of commercial vehicle frames: a hybrid finite element and analytical – method. International Journal of Vehicle Design. 1984. V.5,

№1-2.P.26 – 52.

17. Beermann H. J. Torsion von Nutzfahrzeugrahmen mit offenen und geschlossenen Querschnittsprofilen. Automobiltechnische Zeitschrift. 1982. V.82. №9. P.459 – 464.

18. Beermann H. J. Wolbbehinderung in Knoten von Fahrzeugrahmen. Leichtbau der Verkehrsfahrzeuge. 1977. S.1 – 6.

19. Oelschläger H. Nachgiebige Knoten bei der Torsionsberechnung von Nutzfahrzeugrahmen aus offenen Profilen. Automobiltechnische Zeitschrift. 1986. V.86, №3. P.105 – 108.

20. Oelschläger H. Berücksichtigung von Querträger – Aussparungen bei der Berechnung von Nutzfahrzeugrahmen. Leichtbau der Verkehrsfahrzeuge. 1980. V.4, №6 P.74 – 84.

21. Голованов А. І. Розрахунок автомобільних рам з врахуванням жорсткості вузлів. Дослідження з теорії пластин та оболонок. Київ: Вид-во Київ. ун-та. 1989. Вип. 21. С. 67 – 72.

22. Барун В. Н., Павленко П. Д. Зниження металоемкості несучої системи автомобіля – самоскида КАМАЗ. Автомобільна промисловість. 1983. №9. С.12 – 14.

23. Білокуров В. Н. Вибір схеми установки вантажної платформи на рамі самоскида. Динаміка і міцність автомобіля. К. : Типографія, 1986. С. 28.

24. Білокуров В. Н. Шляхи зниження металоемкості рам вантажних автомобілів. Автомобільна промисловість. 1982. №10. С.15 – 18.

25. Білокуров В. Н., Самойлов Г. А., Рубаненко А. В. Обробка та експрес-аналіз результатів випробувань автомобілів з використанням ЕОМ. Автомобільна промисловість. 1983. №3. С.15 – 16.

26. Захаров А. А. Будівельна механіка і розрахунок будівель. Автомобільна промисловість. 1982. №5. С.26 – 29.

27. Захаров А. А. Розрахунок системи рама-платформа автомобілів – самоскидів на згин. Автомобільна промисловість. 1977. №2. – С.18 – 33.

28. Захаров А. А. Використання метода моделювання зв'язків при розрахунку автомобільних рам. Автомобільна промисловість. 1979. №11. С.8 – 12.

29. Білокуров В. Н. Регулювання жорсткості рам автомобіля. Автомобільна промисловість. 1972. №4. С. 19 – 22.

30. Cooke C. J. Vehicle structural analysis. Paper in the Seminar at the Inst. Mech. Engr.: Works for Rolls Roys. – 1968. – May 9
31. Courant R. Variational methods for the solution of problems of equilibrium and vibrations. Bulletin of the American Mathematical Society. 1983. V.49, №5. P.1 23.
32. Argyris J. H. Energy and structural analysis: Part I. General theory. Aircraft engineering. 1984. V. 26, October. P.347 – 356;
33. Argyris J. H. Energy theorems and structural analysis: Part II. Application to thermal stress analysis and to upper and lower limits of Saint-Venant torsion constant. Aircraft Engineering. 1984. V. 26. December. – P.410 – 422.
34. Зінкевич О. Метод кінцевих елементів в техніці. К. : Мир, 1975. 541 с.
35. Галлагер Р. Метод кінцевих елементів: Основи. К. : Мир, 1984. 428 с.
36. Сегерлінд Л. Використання метода кінцевих елементів К.: Мир, 1979. 392 с.
37. Бате К. Числові методи аналізу і методу кінцевих елементів К. :Вища школа, 1982. 448 с.
38. Норд Д. Вступ в метод кінцевих елементів. К. : Вища школа, 1987. – 304 с
39. Васидзу К. Варіаційні принципи в теорії пружності і пластичності К. : Мир, 1987. 560 с.
40. Лавров Е. Н. Використання пакетів MSC.Nastran, MSC.Patran під час проектування та оцінки несучої здатності конструкції перспективного багатоцільового автомобіля. Матеріали конференції MSC. 2005. С. 15 – 21.
41. Кравчук А. С., Смалюк А. Ф. ANSYS для інженерів: Нав. пос. К.: Машбуд, 2004. 512 с.
42. Дащенко А. Ф. Аналіз напружено-деформованого стану рами автомобіля в програмі ANSYS. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університета. 2005. № 29. С.20 – 30.

