

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра загальнотехнічних дисциплін

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Дослідження технологічного процесу відновлення деталей
полімерними матеріалами»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*» групи 3
Чорноокий Валентин Юрійович
Керівник: Ковальчук С. Б.
Рецензент: Горбенко О. В.

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Стабільне збільшення вартості природних ресурсів і їх виснаження, а також прийняття законів з охорони навколишнього середовища сприяють посиленню вторинного ринку сільськогосподарської техніки, тим більше що фінансові ресурси більшості сільськогосподарських товаровиробників обмежені.

В таких умовах для формування оптимального машино-тракторного парку (МТП) перспективним є розвиток системи технічного сервісу, а також модернізації техніки, що була в експлуатації. Особливо слід відзначити можливість ремонту і модернізації в умовах ремонтних майстерень машин, знятих з виробництва з різних причин, але експлуатованих в даний час.

Підвищення надійності модернізованих машин повинно відбутися за рахунок використання більш досконалих конструкцій агрегатів і нових матеріалів. Одними з таких матеріалів є полімерні композиційні матеріали (ПКМ), які в останні роки знаходять все більш широке застосування і відкривають нові можливості в технології не тільки ремонтних і відновлювальних робіт різного устаткування, але і в багатьох інших областях.

В силу специфіки технологій виготовлення, полімерні композиційні матеріали мають великий потенціал при створенні матеріалів з нанодобавками, які можуть змінювати експлуатаційні характеристики матеріалу, в залежності від вимог замовника.

Слід зазначити, що дослідження з розробки та виробництва композитів, і, перш за все, модифікованих нанорозмірними наповнювачами, у всьому світі віднесені до пріоритетних науково-технічних напрямків і мають критичну важливість для забезпечення конкурентоспроможності економік високорозвинених країн [1 - 3].

Верифікація використання полімерних нанокомпозитів в технічному сервісі знаходиться на початковому етапі розробки, так як вони виникли і

застосовуються порівняно недавно. Дослідження в цій області ґрунтуються на теоретичних положеннях адгезії клейових матеріалів з металами і неметалами, неоднозначно трактованих різними авторами. Оскільки повне виготовлення або ремонт сільськогосподарських машин на основі ПКМ неможливі на даному етапі розвитку інженерної справи, постає питання розробки досконалих і дешевих стикувальних вузлів, що з'єднують металеві (найчастіше сталеві) деталі машин з ремонтними, виконаними з ПКМ.

Тому поряд зі створенням нових вузлів з ПКМ, актуальними є розробка конструктивних рішень з'єднань композитних деталей з металевими частинами конструкцій в процесі модернізації або ремонту, а також створення досить простого, але ефективного методу розрахунку для оцінки міцності розглянутих з'єднань.

Мета роботи. Підвищення ефективності відновлення деталей сільськогосподарської техніки при ремонті полімерними композиційними матеріалами (ПКМ) шляхом розробки з'єднання композитних та металевих частин конструкцій.

Об'єкт дослідження. З'єднання композитних та металевих частин конструкцій сільськогосподарської техніки, ПКМ на основі епоксидних смол і скловолокна.

Предмет дослідження. Міцність зазначених ПКМ і клейо-штіфтові з'єднання композитних та металевих частин конструкцій сільськогосподарської техніки.

Виходячи із зазначеної мети дослідження, його основні завдання:

- виявити можливість збільшення зносостійкості поверхні полімерних композитів до стирання під дією рухомих абразивних середовищ для підвищення ефективності відновлення корпусних деталей сільськогосподарської техніки;
- розробити з'єднання композитних та металевих частин конструкцій сільськогосподарської техніки;

- розробити методику розрахунку на міцність з'єднання «сталь-композит» для використання при ремонті сільськогосподарської техніки;
- експериментально обґрунтувати раціональні параметри зазначеного з'єднання для відновлення деталей сільськогосподарської техніки.

Методологія і методи дослідження. У процесі дослідження застосовувалися статистичний, експериментальний, абстрактнологічний, розрахунково-конструктивний методи; використані основні закони і методи математичної статистики, методи планування експерименту. Для обробки статистичних даних результатів експериментів і проведення розрахунків використовувалося програмне забезпечення: Maple15; Microsoft Excel.

Теоретична і практична значущість. Запропоновані технічні рішення дозволяють підвищити ефективність робіт по відновленню деталей сільськогосподарської техніки за допомогою ПКМ, продовжити термін служби сільськогосподарських машин.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Полімерні композиційні матеріали (ПКМ) і їх застосування в сільгоспмашинобудуванні

Матеріали, що найбільш часто використовуються при конструюванні, можуть бути розділені на чотири основні групи: метали, полімери, композити і кераміка.

Композиційні матеріали застосовуються вже протягом багатьох століть, і не суттєве збільшення застосування композиційних матеріалів обумовлено, з одного боку, вичерпання резервів традиційних конструкційних матеріалів, а з іншого – колосальними можливостями, закладеними в самій ідеї створення композиції з наперед заданими властивостями.

Очевидно, що за останні роки стався якісний прорив у створенні матеріалів нового покоління, технічний прогрес в більшості галузей машинобудування в значній мірі визначається повною або частковою заміною металевих конструкцій на конструкції з композиційних матеріалів.

У зв'язку з чим, першочерговим завданням стає розробка композиційних матеріалів і конструкцій з них, які забезпечують конкурентоспроможні цінові та якісні показники, а також технології їх виготовлення [4].

Композиційні матеріали (КМ) [5] – це матеріали, що складаються з двох або більше компонентів (окремих волокон або інших армуючих складових і зв'язуючої їх матриці) і володіють специфічними властивостями, відмінними від сумарних властивостей їх складових. Компоненти КМ не повинні розчинятися чи іншим способом поглинати одна одну. Властивості КМ не можна визначати тільки за властивостями компонентів, без урахування їх взаємодії.

Одними з найбільш затребуваних в даний час по праву вважаються ПКМ, без яких неможливо уявити сучасну авіацію, машинобудування, суднобудування, ракетно-космічну техніку, що обумовлюється їх властивостями.

Застосування ПКМ дозволяє не тільки значно знизити вагу виробу, а й в разі зменшити відходи при виробництві, а істотне підвищення характеристик [6, 7], що досягається різними видами армуючих елементів та/або наповнювачів (в тому числі і нанорозмірними).

Аналіз матеріалів міжнародних конференцій і виставок [8], дозволяє зробити висновок, що одним з стрімко прогресуючих напрямків в розробці КМ – це застосування в якості наповнювача наноматеріалів, дослідженню яким і присвячена робота.

До основних областей застосування нанотехнологій в АПК відносяться технічний сервіс і сільськогосподарське машинобудування.

До недавнього часу у вітчизняному сільгоспмашинобудуванні ПКМ використовували при виготовленні: напівпричепів цистерн; підживлювачів рідкими добривами [41]; в техніці для тваринництва, кормовиробництва; в техніці для обробки, зберігання та переробки зернових культур, де застосування ПКМ сприяє не тільки поліпшенню санітарно-гігієнічних умов роботи людей, але і забезпечує збереження зерна, зниження матеріально-технічних витрат, збільшення терміну служби обладнання (ковшів для норій, самопливів, силосів та ін.).

Очевидно, що використання ПКМ має позитивні аспекти: дозволяє зменшити масу конструкції при збереженні або поліпшенні її механічних характеристик; антикорозійні властивості цих матеріалів дозволяють застосовувати їх там, де не витримують інші матеріали (елементи тваринницьких ферм; ємності для зберігання мінеральних добрив, сільськогосподарських заготовок; для виготовлення кузовних деталей сільськогосподарської техніки; футеровочні листи для захисту від

інтенсивного зносу технологічного і транспортного обладнання при транспортуванні зернових культур ;) і ін.

Однак, в даний час в ремонтно-відновлювальних роботах ПКМ застосовуються в основному у вигляді багатошарових полімерних і метало-полімерних покриттів.

Застосування ПКМ також вважається перспективним напрямком в підвищенні ефективності відновлення нерухомих з'єднань підшипників. Введення наповнювачів в полімер дозволяє значно змінювати споживчі властивості матеріалу і, як правило, істотно зменшувати його вартість [9].

Обмеження у використанні нових полімерних матеріалів в сучасному машинобудуванні при виготовленні ремонтних великогабаритних деталей можна пояснити ще й з точки зору трудомісткості їх утилізації або вторинної переробки в кінці життєвого циклу виробу, а також відходів, що виникають в процесі виробництва. Особливу складність представляє переробка відходів склопластиків, що складаються з реактопластів і безперервного скляного наповнювача (скловолокна, склотканини).

Однак, при вторинній переробці відходів ПКМ можливе отримання позитивного економічного ефекту, так як матеріали використовуються повторно, що дозволяє знизити споживання природних ресурсів, викиди в навколишнє середовище і витрати енергії [10]. Однак, на думку [11] «доцільною, з екологічної та економічної точок зору, є вторинна переробка чималих за обсягами потоків однорідних за складом і вільних від сторонніх домішок відходів, що були у використанні виробів». У зв'язку з чим, до цього часу не існує широкодоступних методів рециклінга ПКМ.

Таким чином, незважаючи на величезний потенціал, застосування ПКМ при відновленні тонколистових великогабаритних деталей незначне, що пов'язано, мабуть, з відсутністю рекомендації по їх використанню, баз даних щодо зміни властивостей добавками, що модифікують (в залежності від вимог споживача), зі складністю утилізації та складністю методик проектування.

1.2. Аналіз з'єднання композитних деталей з металевими частинами конструкцій

В даний час відзначається різке збільшення використання композитних матеріалів у всіх галузях. Багато робіт, видані протягом останніх двох десятиліть, свідчать про те, що докладають серйозних зусиль не тільки для розробки системи аналізу та проектування самих композитних матеріалів, а й для розробки деталей і вузлів з них [11].

При створенні будь-якої нової конструкції або модернізації старої, тим більше із застосуванням нових матеріалів, найбільші труднощі пов'язані зі створенням стиків і з'єднанням деталей між собою, особливо з'єднання композитних та металевих частин конструкцій.

На сьогоднішній день проблема створення і удосконалення таких з'єднань є найбільш актуальною і активно розробляється за кордоном, при цьому вивченням з'єднання «сталь-композит» традиційно займалися в рамках розвитку авіаційної та аерокосмічної галузей промисловості [11].

З'єднання деталей з КМ можуть бути розділені на: адгезійні (клейові), з'єднання з механічним кріпленням (традиційно використовуються для металевих конструкцій), комбіновані (гібридні) і з'єднання з трансверсально кріпильними мікроелементами (клейо-штифтові). Розглянемо їх основні переваги та недоліки.

Технологія адгезійного склеювання широко використовується, в основному за її низької вартості і досить високу ефективність [12]. У конструкціях із шаруватих КМ адгезійні з'єднання є найпоширенішими і реалізуються звичайним склеюванням, коли клейовою речовиною є зв'язуючі або спеціальні клейові препреги. Найбільшого поширення набули клейові з'єднання внапусток.

Клейові сполуки дають значне скорочення маси, в порівнянні з механічним способом кріплення, що як було зазначено раніше, призводить до економії палива. Опір втоми, а також рівномірний розподіл напружень

збільшують несучу здатність з'єднання. Проте, клейові з'єднання зазвичай не використовуються там, де потрібне ефективне розбирання та збирання. Вони дуже чутливі до підготовки поверхні і до умов навколишнього середовища, зокрема вологості і корозійного середовища. Клейові з'єднання неможливо перевірити без складних і, отже, дорогих методів контролю, в зв'язку з чим, виявлення дефектів і пошкоджень стає складним завданням [12].

Найбільш часто використовуються з'єднання з механічним кріпленням. Кріплення (штифти, гвинти, болти) дозволяє виконувати демонтаж і легку збірку з'єднань, що важливо для своєчасного і економічно ефективного обслуговування і ремонту. Крім того, такий вид кріплення нечутливий до екологічних факторів, таким як тепло і вологість до тих пір, поки приймаються антикорозійні профілактичні заходи.

Основним недоліком такого з'єднання є наявність отворів, що в разі волокнистих матеріалів, вимагає часткового видалення армуючих волокон, а це негативно впливає на їх міцність. Незалежно від використовуваного матеріалу отвір є концентратором напружень [12].

У разі болтових з'єднань потрібно так само періодичне технічне обслуговування через ослаблення зусилля затяжки, викликаного вібраціями.

В силу специфіки КМ, механічне поєднання пов'язане з певними труднощами через технології складання з одного боку, і відсутність системи експериментального забезпечення розрахунку на міцність і проектування механічних з'єднань [13] з іншого.

Пильна увага приділяється в останнє десятиліття використанню комбінованих з'єднань (з'єднанням з дискретними зв'язками). Ці з'єднання поєднують деякі з позитивних властивостей механічних і клейових з'єднань, проте настільки мало вивчені, що їх ефективність важко експериментально виміряти і науково передбачити. Через складну взаємодію між компонентами цього з'єднання і численних умов, які впливають на ці взаємодії, неможливо змоделювати поведінку з'єднання з достатнім ступенем точності.

В роботі [13] детально досліджені механічні властивості з'єднань внапусток «метал-композит» при статичних і вібраційних навантаженнях (рис. 1.1) в залежності від способу з'єднання (адгзійне, болтове, комбіноване); швидкості прикладання навантаження; геометрії (розташування отворів під кріплення по відношенню до краю деталі); підготовки матеріалу (перед склеюванням); виду матеріалу і зміни температури. Розглядався випадок, коли комбіновані з'єднання допустимі, наприклад, якщо не потрібно складання/розбирання з'єднання, а вплив навколишнього середовища вводить обмеження щодо типу використовуваного клею.

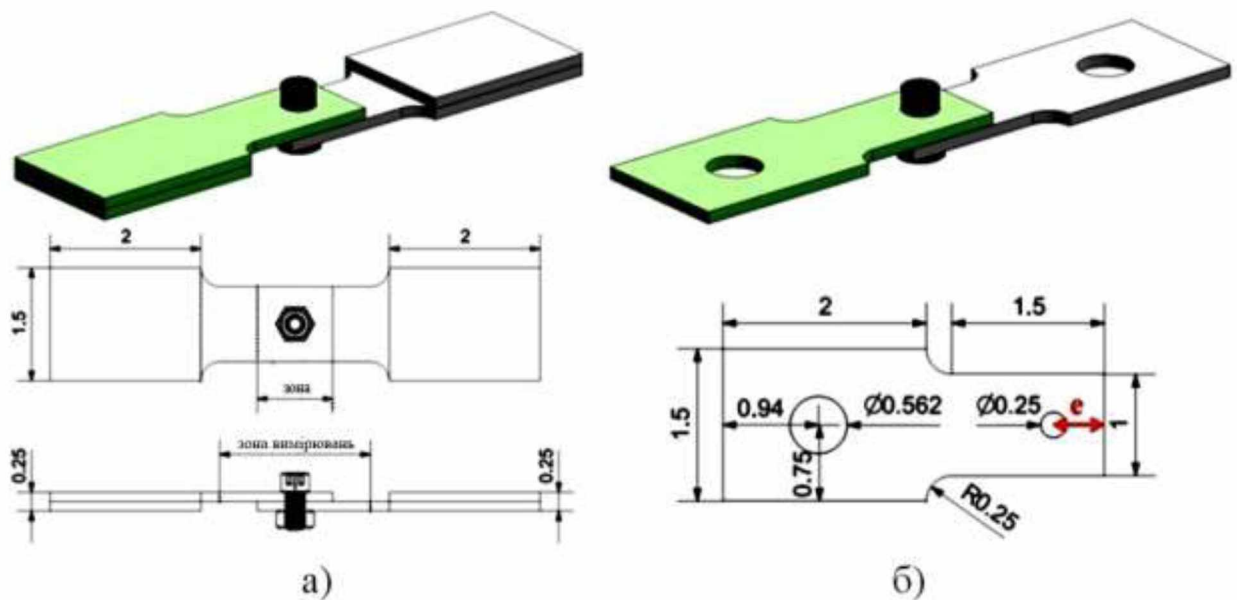
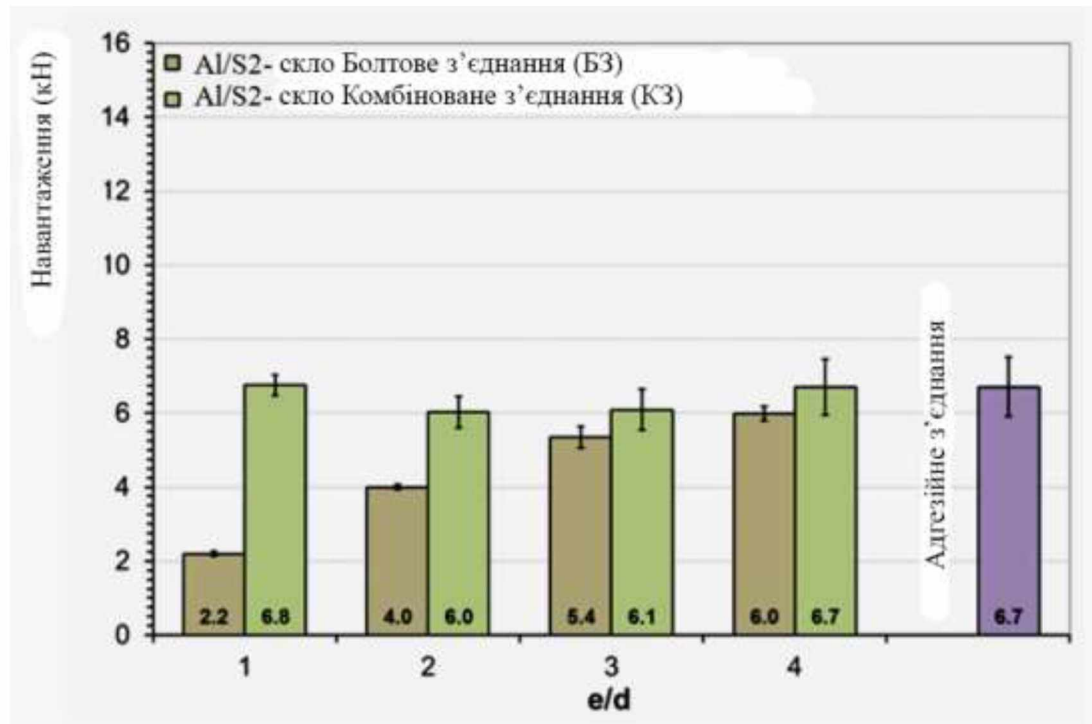


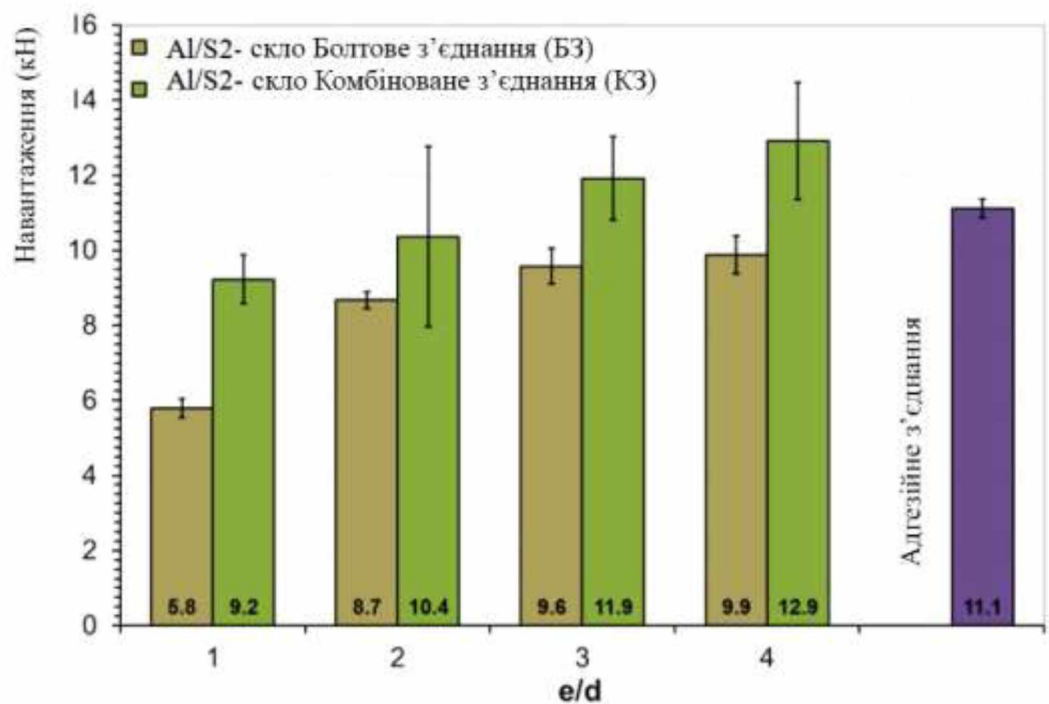
Рисунок 1.1 – Моделі і схеми зразків з'єднання «метал-композит» а) при статичному навантаженні; б) при вібраційних навантаженнях; розміри наведені в дюймах

Відомі дослідження випробування з'єднання Al/S_2 – скло, з орієнтацією односпрямованих шарів в композиті в чотирьох основних напрямках 0° ; 45° ; 90° ; -45° (по 4 шари), зв'язуюча смола SC-15, адгезив-клей FM94 [14]. Доведено, що такі з'єднання перевершують як болтові, так і клейові. Зі зменшенням відстані від краю деталі до отвору під болт ($e/d = 4$) комбіноване

з'єднання витримує те ж навантаження, що і болтове (рис. 1.2), а це в свою чергу призводить до економії матеріалів.



а)



б)

а) при статичному навантаженні; б) при вібраційних навантаженнях

Рисунок 1.2 – Максимальне навантаження для болтових, адгезійних, комбінованих з'єднань, $e/d = 1 \dots 4$, Al/SiO₂ – скло:

Розглянуті комбіновані з'єднання вимагають установки додаткових з'єднувальних елементів, які збільшують масу збірки. Крім того, для них необхідно виконати попередні операції: свердління отворів під кріплення або підготовку з'єднувальної поверхні шляхом травлення, шліфування, і знежирення під склеювання. Внаслідок пере різання волокон в зонах отворів відбувається значне зниження міцності з'єднань, що обмежує їх застосування у відповідальних конструкціях [14].

Деякі автори пропонують виконувати отвори в ПКМ по аналогії з природними явищами, такими як перерозподілу напрямку волокон деревини навколо сучка. Локальним нагріванням пластифікується матриця, з боку металевго листа за допомогою спеціального загостреного інструменту впроваджується (вкручується) металева сполучна втулка, яка частково розсовує волокна (повної відсутності підрізу волокон авторам уникнути не вдалося).

Такий спосіб з'єднання не вимагає ніяких додаткових сполучних елементів, що дає зниження маси і вартості з'єднання. Крім того, така схема з'єднання характеризується скороченням часу складання і високим ступенем автоматизації процесу, а також, високою міцністю (рис. 1.3, 1.4).

Очевидно, що несуча здатність з'єднання в значній мірі визначається товщиною склопластикової деталі. Результати експерименту (рис. 1.5) дозволили зробити висновок, що оптимальне співвідношення товщини деталей, що з'єднуються 1,4 (несуча здатність з'єднання сталевго листа товщиною 1,5 мм зростає до товщини склопластикової панелі панелі 2,0 мм, а потім падає).

Розглянуте комбіноване з'єднання вимагає для своєї реалізації спеціальне устаткування і оснащення, і може застосовуватися для з'єднання тонкостінних елементів.

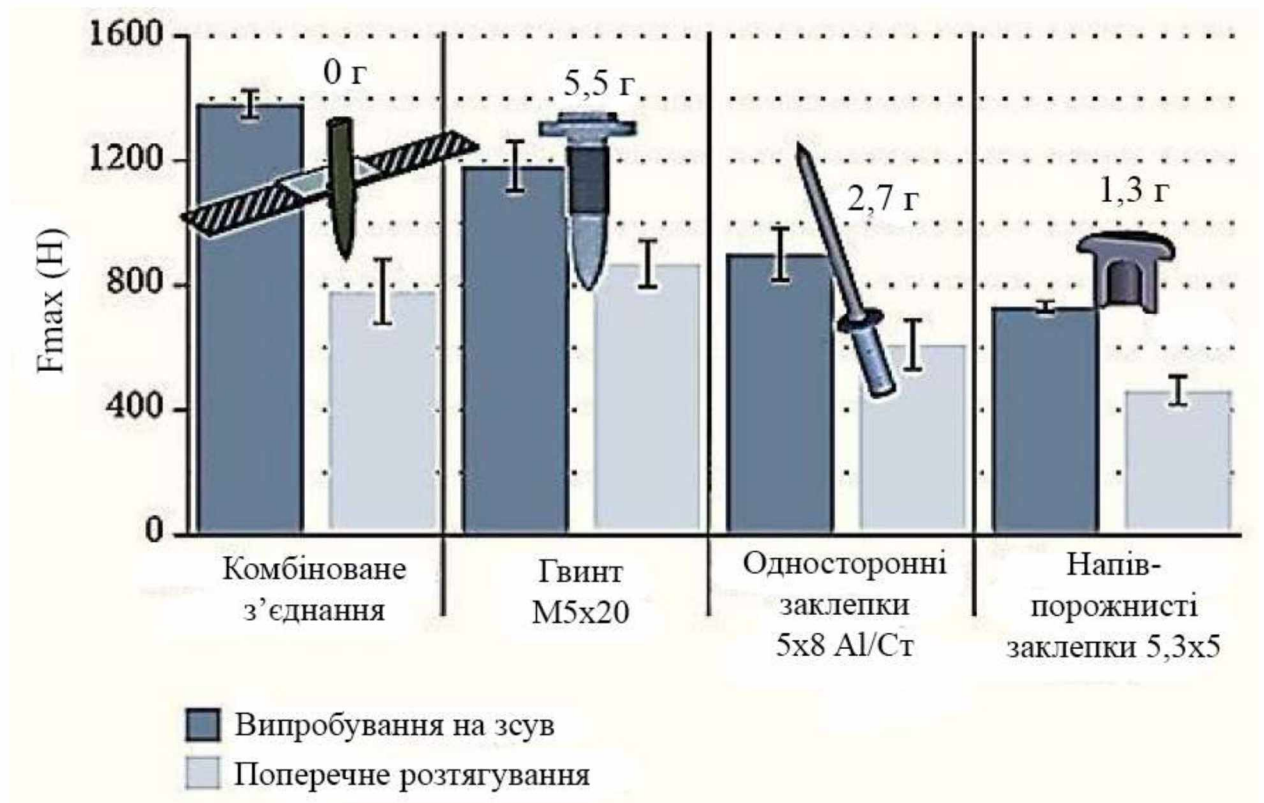


Рисунок 1.3 – Навантаження відмови комбінованого з'єднання в порівнянні з традиційними способами складання

З'єднання таким способом композитних та металевих частин конструкції зі значною різницею товщини, на думку авторів, неефективне. Для усунення недоліків комбінованих з'єднань розробляють клейо-штифтове з'єднання, яке не потребує порушення цілісності волокон основи ПКМ, і, як наслідок, не міняє механічні характеристики композиту [13].

У зоні з'єднання металевих частин конструкції з елементами з ПКМ встановлюються кріпильні елементи особливої форми, які впроваджуються в пакет препреги ПКМ і піддаються спільній полімеризації. В результаті волокна основи в зоні з'єднання зберігають свою цілісність, а кріпильні елементи виявляються заформованими в тіло КМ.

Перевагами такого типу з'єднань є:

- збереження цілісності волокон ПКМ, що знижує концентрацію напружень біля сформованого отвору і забезпечує мінімальне погіршення фізико-механічних властивостей КМ;

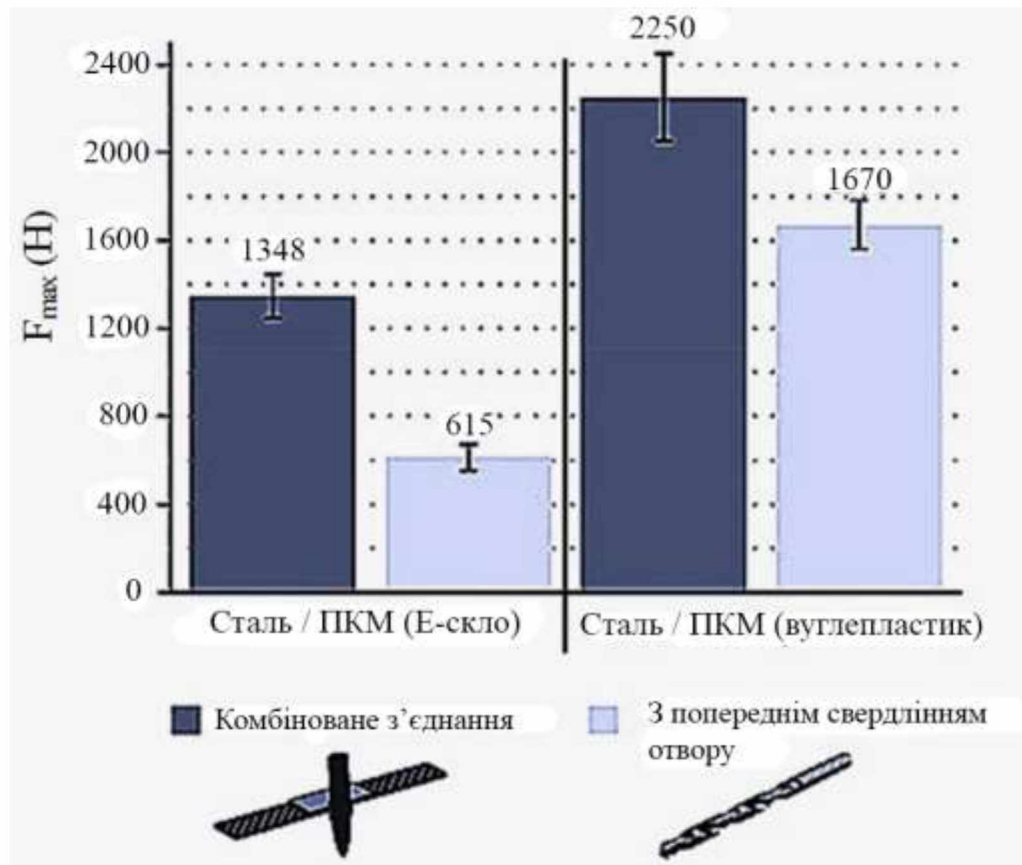


Рисунок 1.4 – Результати випробувань на зсув з'єднань внапусток «сталь-склопластик» і «сталь-вуглепластик» виконаних з заформованою втулкою і з попереднім свердлінням отвору під кріплення

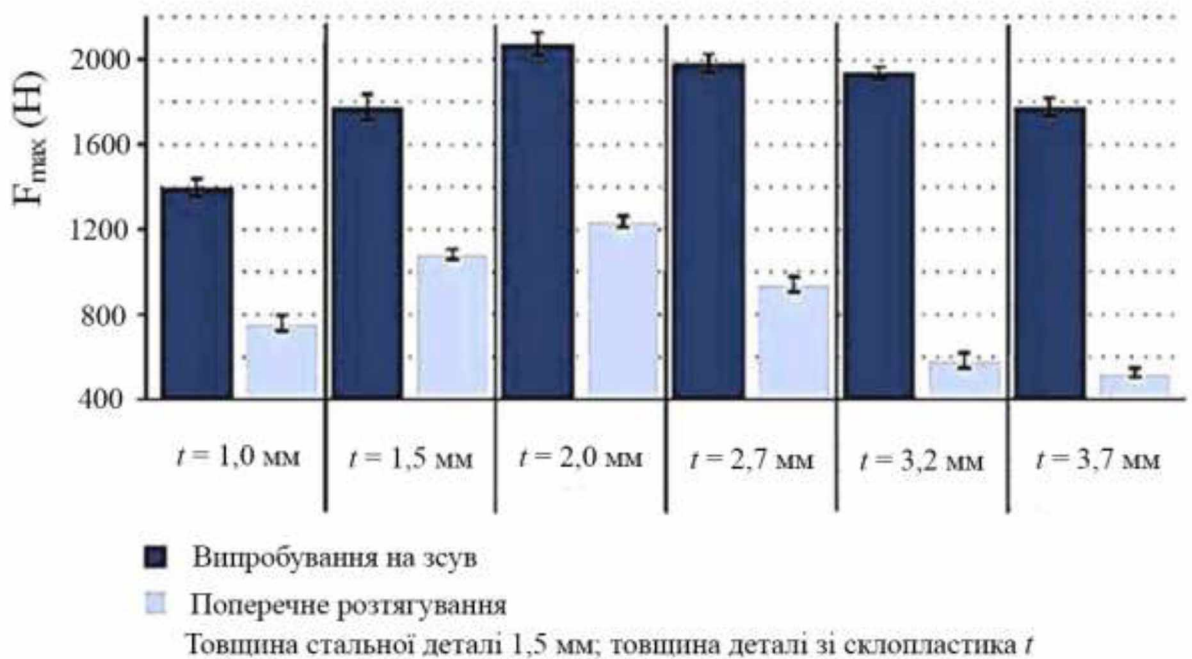


Рисунок 1.5 – Навантаження відмови комбінованого з'єднання в залежності від товщини склопластику

- при належній для конкретного з'єднання «сталь-композит» обробці дотичних поверхонь забезпечується надійне склеювання, без операцій підгонки, що підвищує несучу здатність з'єднання і запобігає відриву (висмикуванню кріпильних елементів (КЕ));

- виключення операцій механічної обробки КМ;
- відсутність жорстких вимог до стану поверхні металевої деталі;
- можливість застосування даного способу кріплення при різних технологіях виготовлення композиту.

До недоліків відносяться:

- вимога до гостроти вершин КЕ, щоб уникнути захвату ниток КМ;
- ретельна обробка бічних поверхонь КЕ, щоб уникнути перерізання ниток КМ;
- неремонтоздатність;
- труднощі неруйнівного контролю;
- утворення «закрученої» зони з чистого зв'язуючого навколо КЕ, а також викривлення волокон, що приводить до деякого зниження міцності і жорсткості КМ.

Очевидно, що найбільш перспективним для ламінатних ПКМ є комбіноване клейо-штифтове з'єднання «сталь-композит» (з'єднання з дискретними зв'язками), що не вимагає порушення цілісності волокон основи ПКМ, і, як наслідок, не міняє його механічні характеристики.

З огляду на те, що в основному з'єднання такого типу застосовуються в авіації та космічній галузі (хоча останнім часом намітилася тенденція до їх застосування в автомобілебудуванні), при певних спрощеннях в конструкції і технології виготовлення їх можна застосувати і для відновлення деталей сільськогосподарських машин. При цьому на сьогоднішній день відсутній простий метод проектувального розрахунку досліджуваних з'єднань «сталь-композит», існуючі методи не тільки громіздкі і трудомісткі, але і вимагають високої кваліфікації виконавця.

1.3. Способи відновлення тонкостінних листових корпусних деталей

В даний час для відновлення тонкостінних листових корпусних деталей сільськогосподарської техніки найбільш поширений зварювально-наплавочний спосіб із застосуванням газового зварювання.

Основними перевагами методу є простота, доступність, відносна низька собівартість, можливість нанесення на зношені поверхні деталі металевих пластин практично будь-якого розміру і хімічного складу із заданою твердістю і зносостійкістю.

Істотними недоліками методу є висока енергоємність, шкідливі умови праці, необхідність ретельної підготовки деталі, висока кваліфікація зварювальника. Для запобігання утворенню дефектів у зварному з'єднанні і отриманню якісного зварного шва деталі повинні бути ретельно очищені і вимиті (підготовка циліндричних і плоских поверхонь зводиться до зачистки їх до металевого блиску). Обробка погано підготовленою поверхні призводить до непровару, утворення пір, раковин і забруднення шва різними неметалевими включеннями. За рахунок нерівномірності зносу, який відбувається по всій поверхні тонколистової корпусної деталі, після заварки дефектів виникає досить значне розходження по товщині, так як зона поруч зі звареним швом вже зношена в процесі експлуатації «до ремонту».

Крім того, нагрів корпусної деталі під час зварювання призводить до зміни структури кристалічної решітки металу в цій зоні, в результаті, саме ця частина відремонтованої деталі більш схильна до деформації і виникнення дефектів при подальшій експлуатації машини.

Як альтернатива зварювально-наплавочному способу широке застосування при ремонті великогабаритних деталей в кораблебудуванні і автомобілебудуванні, а саме: при закладенні зварних швів, тріщин механічного (не втомного) походження, пробоїн і т.д., а також у виготовленні

корпусів і палуб човнів і яхт отримали епоксидні клейові композиції - ламінатні склопластики.

На відміну від методу, розглянутого вище, використання таких ПКМ дозволяють не тільки виконати «латочку» в місці дефекту, але і, при необхідності, виготовити нову, ремонтну деталь. При цьому багато виробників на корпуси яхт, виготовлених з подібних склопластиків, дають гарантію від 10 років і більше, що характеризує їх як досить надійні.

У ремонтному (одиничному) виробництві найбільш широко застосовується метод ручного (контактного) формування (рис. 1.6). Застосовувані матеріали: смоли (епоксидні, поліефірні, вінілефірні), волокна (скловолокна, склотканини і мати), наповнювачі (стійкі до використовуваних смол).

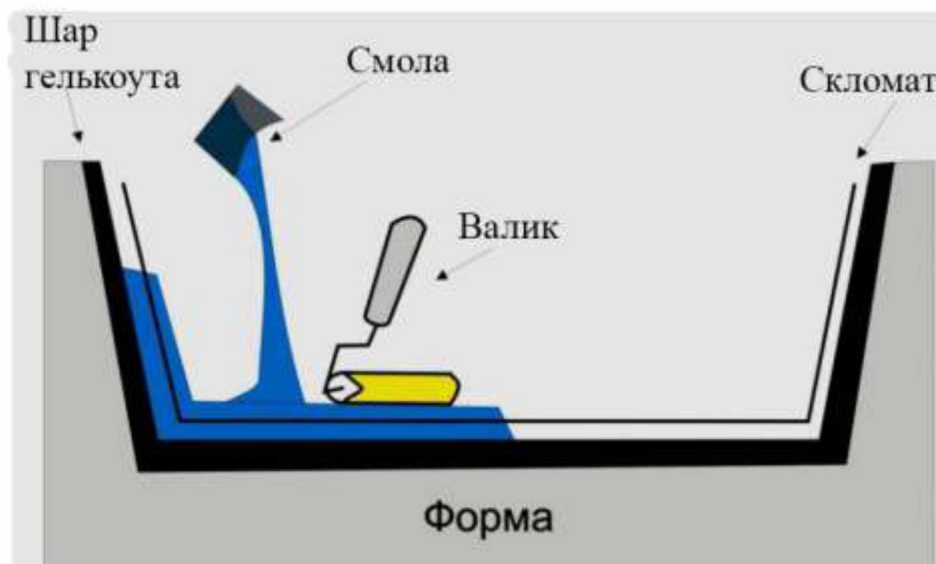


Рисунок 1.6 – Схема методу ручного (контактного) формування

Основними перевагами методу є: універсальність; доступність (широко використовується протягом багатьох років); простота процесу; недорогі використовувані інструменти (при використанні смол, затвердіваючих при кімнатній температурі); широкий вибір постачальників і матеріалів; більш високий вміст скляного наповнювача і довші волокна в порівнянні з методом напилення рубаного роввінга; можливість отримання виробів складної форми і великого розміру; низька вартість оснастки; можливість створювати

шаруваті конструкції, в тому числі із заставними деталями; придатність для дослідного (одиничного) виробництва.

До недоліків можна віднести: витрати ручної праці, високу кваліфікацію працівника (від якого залежать: якість суміші смоли і каталізатора, склад скловолокна в ламінаті, якість ПКМ), ймовірність повітряних включень в ПКМ, низьку продуктивність і шкідливі умови праці.

З огляду на те, що склад композиту і його товщина залежать від співвідношення кількості скловолокна і смоли, належний контроль сировини є одночасно і способом контролю одержуваної продукції.

Епоксидні композиції являють собою багатокомпонентні склади. Очевидно, що ряд технологічних труднощів при їх застосуванні, пов'язаний, перш за все, з недостатньою життєздатністю композиції. Крім того, потрібні певні навички при дозуванні компонентів, так як від цього в значній мірі залежать фізико-механічні властивості. Процес трудомісткий і автоматизації до недавнього часу не піддавався.

На сьогоднішній день існує ряд розпилювачів із зовнішнім змішуванням матеріалу, які вирішують цю проблему. Наприклад, двофазний пістолет-розпилювач Graco Hopper Gun (США) з автоматичним дозуванням і зовнішнім змішуванням компонентів, що усуває перераховані вище недоліки епоксидних композицій.

Технологія повітряного обволокування факела, рисунок 1.7, застосовувана в сучасних розпилювачах, дозволяє запобігти попаданню матеріалу за межі факела (на підлогу, стіни і одяг оператора), що в свою чергу веде до економії коштів і поліпшення умов праці. Крім того, така технологія дозволяє формувати факел, в якому краплі матеріалу надходять до оброблюваної поверхні під дуже низьким тиском.

Мала швидкість руху частинок сприяє формуванню малої турбулентності в матеріалі в момент його зіткнення з поверхнею, що дозволяє значно знизити ймовірність формування бульбашок повітря і утворення пор.

Для отримання більш щільної і однорідної структури композиту, можливе застосування вакуумного формування. Після укладання всіх армуючих шарів, поки смола ще не полімеризувалась, на матрицю з формою накидається вакуумний мішок (діафрагма) і герметизується стрічкою.

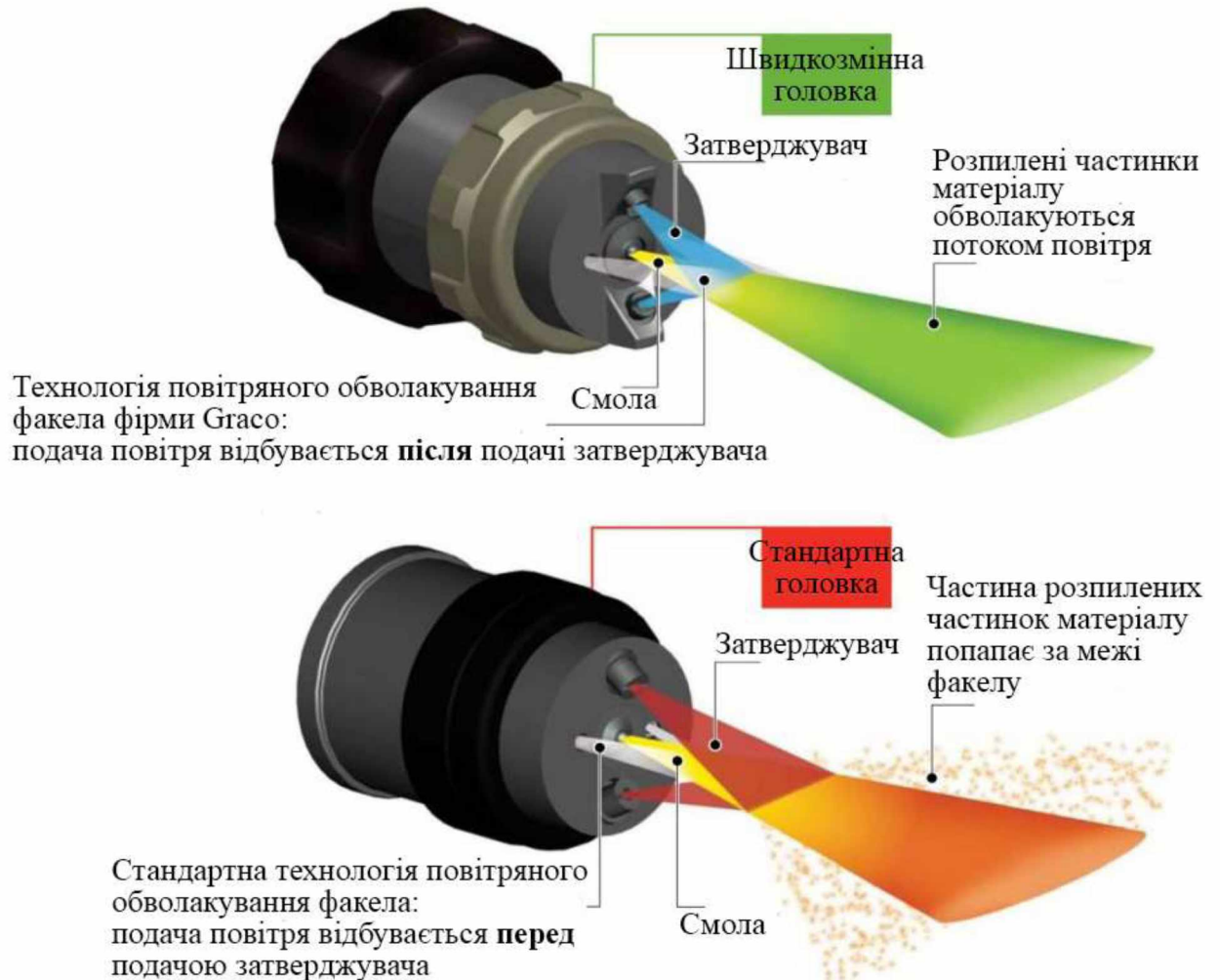


Рисунок 1.7 – Технологія повітряного обволакування факела

З герметичної порожнини, що утворюється між формованою композицією і діафрагмою, відкачують повітря, щоб тиск там був нижчим, ніж прикладена до зовнішньої сторони діафрагми. Завдяки утвореному перепаду тисків з різних сторін діафрагми відбувається притискання ПКМ до форми, що забезпечує конструктивне оформлення деталі.

При такому формуванні отримують вироби, зовнішня і внутрішня поверхні яких повторюють морфологію поверхонь формуючих елементів

(самої форми і діафрагми). Крім того, в процесі притискання зформована композиція ущільнюється в результаті усунення пустот і видалення надлишку смоли. Вакуум може створюватися як підручними засобами – звичайний автомобільний насос, так і спеціальними вакуумними насосами. У вакуумний мішок по черзі укладається: спеціальна поліамідна «жертвна» тканина, яка не має адгезії до смоли (поверхня буде чистою і матовою); другий шар – перфорований поліетилен; третій – дренажна тканина, яка є також розподільником тиску по всій площі мішка.

Таким чином, застосування ПКМ на основі епоксидних композицій і скловолокна в якості замінюючих сталь матеріалів для відновлення великогабаритних тонколистових корпусних деталей сільськогосподарської техніки, при наявності відповідного обладнання, може стати альтернативою зварювально-наплавочному способу із застосуванням газового зварювання, особливо в умовах відсутності на ринку запасних частин .

Висновки

Накопичений в даний час досвід створення і експлуатації середньо- і слабонавантажених агрегатів з КМ забезпечує розробку раціональних по масі елементів машин, однак, аналіз доступної інформації показує, що ПКМ вкрай мало застосовуються для відновлення корпусних деталей сільськогосподарської техніки, бункерів тощо. Деталей, що працюють в умовах корозії або підвищеного зносу, незважаючи на те, що саме в цьому напрямку застосування модифікованих ПКМ технологічно обґрунтовано.

Крім того, при відновленні в умовах ремонтних майстерень сільгоспмашин, знятих з виробництва з різних причин, але експлуатованих в даний час, застосування ПКМ в якості замінювачів сталь матеріалів може стати раціональним рішенням в умовах ремонтних майстерень (при наявності відповідного обладнання) з урахуванням відсутності запасних частин .

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма дослідження

Залежно від мети дослідження при встановленні повних і точно сформульованих умов експерименту слід враховувати наступні фактори:

- матеріал,
- тип навантаження,
- зразок,
- випробувальна машина,
- навколишнє середовище (як правило, навколишнє середовище не вимагає особливої уваги, винятком є корозійні і високотемпературні випробування),
- методика проведення.

матеріали:

- ПКМ на основі склотканини Т-10 і епоксидної смоли ЕД-6 з відповідними добавками (пластифікатор – ДБФ, затверджувач – ПЕПА);
- ультрадисперсні порошки беміт $Al(OH)_3$ і корунду Al_2O_3 ;
- металеві частини конструкцій з'єднань виконані зі сталі 3.

В експериментальних дослідженнях застосовано сучасне вимірювальне та випробувальне обладнання, установки та стенди промислового виробництва, пристосування оригінальної конструкції. Вимірювання розмірів зразків проводилися мікрометром МК-25 і штангенциркулем ШЦ-1-125-0,1. Дослідження проводилися при кімнатній температурі 24-25°C, по методикам, наведеним нижче. В процесі проведення лабораторного тестування здійснювалося монотонне навантаження без витягів напружень на заданому рівні, при такому характері навантаження зразка втому матеріалу не проявляється.

2.2. Методика отримання зразків

Для визначення механічних характеристик, пропонованих ПКМ було проведено лабораторне тестування на розтягнення. Цей вид навантаження є одноосьовим і однорідним. Зразок повинен мати просту форму, краще стандартизовану [15]. Метою спрощення форми зразків є підвищення ідентичності виготовлених зразків і поліпшення контролю чинників, що впливають на результати проведеного тестування, це не тільки форма, але і абсолютні розміри зразка, наявність концентраторів напруги і стан поверхні.

Як об'єкт вивчення обрані плоскі зразки без головок для виключення підрізу волокон склотканини. При цьому $h \geq 1\text{мм}$, $b \geq 20 \pm 1\text{мм}$, $l = 200\text{мм}$, (рис. 2.1).

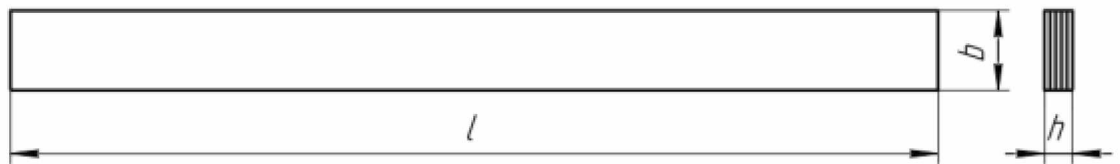


Рисунок 2.1 – Зразок для проведення експерименту на розтягнення

Для проведення лабораторного тестування були виготовлені плоскі зразки (рис.2.2) на основі склотканини Т-10 і епоксидної смоли ЕД-6 з відповідними добавками. Зразки без добавок – 1 група, зразки з додаванням в смолу беміт – 2 група і зразки з додаванням в смолу корунду – 3 група.



Рисунок 2.2 – Представники зразків з ПКМ

Характеристики зразків в залежності від наявності добавок, взаємного розташування односпрямованих шарів і наявності покриття занесені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики зразків з ПКМ

№	К-сть шарів	Розташування	Добавки	Примітки
1/1	5	$0^{\circ} \times 0^{\circ} \times 0^{\circ} \times 0^{\circ} \times 0^{\circ}$	Нема	Усі шари пропитуються смолою
1/2	5	$0^{\circ} \times 45^{\circ} \times 0^{\circ} \times -45^{\circ} \times 0^{\circ}$	Нема	
2/1	5	$0^{\circ} \times 0^{\circ} \times 0^{\circ} \times 0^{\circ} \times 0^{\circ}$	Беміт $Al(OOH)$	Усі шари пропитуються смолою з додаванням беміту
2/2	5	$0^{\circ} \times 0^{\circ} \times 0^{\circ} \times 0^{\circ} \times 0^{\circ}$	Беміт $Al(OOH)$	З додаванням беміту виконується тільки покриття зразка
2/3	5	$0^{\circ} \times 45^{\circ} \times 0^{\circ} \times -45^{\circ} \times 0^{\circ}$	Беміт $Al(OOH)$	Усі шари пропитуються смолою з додаванням беміту
2/4	5	$0^{\circ} \times 45^{\circ} \times 0^{\circ} \times -45^{\circ} \times 0^{\circ}$	Беміт $Al(OOH)$	З додаванням беміту виконується тільки покриття зразка
3/1	5	$0^{\circ} \times 0^{\circ} \times 0^{\circ} \times 0^{\circ} \times 0^{\circ}$	Корунд (Al_2O_3)	Усі шари пропитуються смолою з додаванням корунду
3/2	5	$0^{\circ} \times 0^{\circ} \times 0^{\circ} \times 0^{\circ} \times 0^{\circ}$	Корунд (Al_2O_3)	З додаванням корунду виконується тільки покриття зразка
3/3	5	$0^{\circ} \times 45^{\circ} \times 0^{\circ} \times -45^{\circ} \times 0^{\circ}$	Корунд (Al_2O_3)	Усі шари пропитуються смолою з додаванням корунду
3/4	5	$0^{\circ} \times 45^{\circ} \times 0^{\circ} \times -45^{\circ} \times 0^{\circ}$	Корунд (Al_2O_3)	З додаванням корунду виконується тільки покриття зразка

Перед просоченням проводилася обробка склотканини уайт-спіритом з подальшою сушкою при температурі 60-80°C, після просочення і часткової полімеризації виходив так званий апроетований препрег.

Зразки випилювалися з заготовки шаруватої пластини, яка виготовлялася способом ручної викладки, в такий спосіб:

- на гладку дерев'яну цулагу кріпилася поліетиленова плівка для запобігання склеювання пластини з поверхнею цулаги;

- потім послідовно укладалися п'ять шарів склотканини, просочені зв'язуючим або зв'язуючим з добавками в співвідношенні компонентів 60% сполучного і 40% добавок (співвідношення компонентів вибрано з технологічних міркувань), для додання плинності цієї суміші використовувався розчинник – ацетон

- на поверхню пластини накладався шар перфорованої поліетиленової плівки, поглинаючий шар з байкової тканини, суцільна плівка і дерев'яна цулаг з вантажем $P = 320\text{Н}$.

Ацетон при взаємодії зі смолою починав діяти як затверджувач. В смолі відбувався процес прискореної полімеризації, тому товщина зразків з додаванням порошків кілька збільшена.

При виконанні зразків з внесенням добавок тільки в покриття, останнім наносилось безпосередньо на поліетиленову плівку, після чого на неї вкладався перший шар склотканини. Полімеризація пластини тривала 48 годин. Потім отримані зразки піддавалися механічній обробці – фрезерування по торцях. Тестування проводилося не раніше ніж через 16 годин після виготовлення.

2.3. Методика дослідження властивостей ПКМ

Метою досліджень є визначення меж міцності досліджуваних ПКМ в залежності від присутності ультрадисперсних порошків беміт $Al(OOH)$ або корунду Al_2O_3 , кількості шарів, просочених з додаванням цих порошків, і взаємною орієнтацією волокон односпрямованих шарів композиту.

Навантаження зразків при проведенні лабораторного тестування здійснювалося уздовж осі зразків розтягує навантаженням.

Дослідження проводилися на електромеханічній випробувальній машині серії LFM 20 - 100 кН - LFM - 100 (ISO 7500-1, клас 0,5).

Вимірювання зусилля проводилося датчиком сили (при навантаженні менше 1кН похибка вимірювань відповідає 1%, вище 1 кН - 0,5%).

Перед проведенням експерименту вимірювалися ширина і товщина робочої частини зразків в трьох місцях: по краях і в середині. Середні значення записувалися і по ним, з точністю до трьох значущих цифр, визначалася площа поперечного перерізу зразка.

Час навантаження зразка відповідав фіксованій швидкості переміщення захоплень машини $V = 5$ мм/хв. За факт руйнування приймалося видиме порушення цілісності зразка. Прийом сигналів, їх обробка, запис і виведення поточної інформації на монітор комп'ютера в режимі реального часу.

Закріплення зразків проводилося в плоских клинових захопленнях, з рискою затискних губок, практично виключає прослизання і розчавлювання закріплюються решт зразка, а також забезпечують осесиметричне додаток розтягує навантаження до зразком.

Експеримент проводився при фіксованій швидкості переміщення захоплень машини $V = 5$ мм/хв (задавалося і підтримувалося системою управління машини LFM - 100).

На кожному зразку в процесі досліджень проводився безперервний візуальний контроль стану (цілісності).

Для визначення мікротвердості застосовують такі типи алмазних інденторів: з чотиригранної пірамідою з квадратною основою (індекс «кв.»), з тригранної пірамідою з основою у вигляді рівностороннього трикутника (індекс «тр»), з чотиригранної пірамідою з ромбічним підставою (індекс «рб»); біциліндричний наконечник (індекс «ц»). Найбільш широко використовується чотиригранна піраміда з квадратною основою і кутом при вершині 136° (тобто така ж, як і в методі Віккерса (HV) схема виконання лабораторного тестування наведена на рис. 2.3.

Мікротвердість можна визначити двома методами: відновленого і не відновленого відбитка. Перший метод є основним; твердість визначається діленням прикладеного навантаження на умовну площу бічної поверхні, визначену на основі вимірювання двох діагоналей відбитка. Другий метод

використовується рідше; число мікротвердості визначають діленням прикладеного навантаження на умовну площу бічної поверхні відбитка, обчислену на основі вимірювання глибини відбитка.

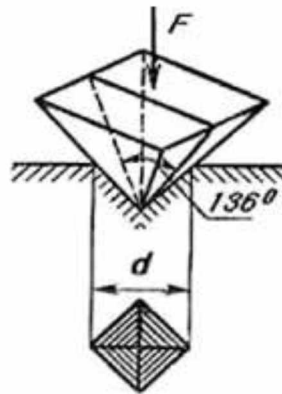


Рисунок 2.3 – Схема проведення лабораторного тестування

При вимірюванні мікротвердості методом відновленого відбитка з використанням індентора – чотиригранної алмазної піраміди з кутом α при вершині 136° – формула для розрахунку твердості:

$$H_{\text{кг}} = \frac{F}{S} = \frac{2F \sin \frac{\alpha}{2}}{d^2} = 1,854 \frac{F}{d^2}, \quad (2.1)$$

де d – діагональ відбитка, мм;

α – просторовий кут у вершині;

F – нормальне навантаження в кГс, прикладена до алмазного індентора.

Число мікротвердості записують так: Н з позначенням навантаження і отриманого результату. Наприклад, $H_{10}180$. Це означає, що визначення проводилося при навантаженні $F = 10\text{гс}$ і мікротвердість складає 180 кгс/мм^2 .

Мікротвердість складових покриття фаз оцінювали методом відновленого відбитка на приладі ПМТ-3. Для навантаження застосовувалися спеціальні вантажі в формі шайб з вирізом масою 5, 10, 20, 50, 100, 200 і 500г. Діагональ отриманого відбитка вимірювалася окулярним мікрометром (система вимірювання приладу).

Виміри проводилися вибірково для чотирьох зразків з кожної групи. Так як замірялася мікротвердість (в цьому випадку не має значення ступінь

просочення зразка сполучною з наповнювачем, важливо тільки є він чи ні, крім того, ніякого впливу не робить взаємне розташування шарів склотканини).

Також були проведені вивчення впливу форми наконечника на виривання кріплення.

Лабораторне тестування проведено на спеціальних зразках з одним КЕ, що представляють собою пластини ПКМ на основі склотканини марки Т10 і епоксидної смоли ЕД-6 з затверджувачем ПЕПА і пластифікатором ДБФ, з'єднані з металевими стрижнями за допомогою заформованими в композит КЕ, що імітують натурне з'єднання «сталь-ПКМ» (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Схема комбінованого з'єднання «сталь-ПКМ»

Випробування зразків проводилися не раніше ніж через 16 годин після затвердіння. Наконечники КЕ виконувалися трьох видів: 1. Голчастий КЕ; 2. КЕ трикутна пластина 2. Циліндричний штифт з кінцем у вигляді списоподібної (лопатоподібної) пластини.

Для забезпечення кріплення зразків у клинових захопленнях машини стрижні КЕ приварювалися до металевої пластини.

Висновки

В процесі проведення лабораторного тестування здійснювалося монотонне навантаження без витягів напружень на заданому рівні, при такому характері навантаження зразка втому матеріалу не проявляється.

Аналіз напружено-деформованого стану (НДС) зразка показує, що найбільші зусилля сприймають КЕ, що знаходяться ближче до вільного кінця сталевих листів. Через більшу податливість ПКМ в порівнянні з металом, в місці кріплення «сталь-композит» відбувається перерозподіл навантаження і частина зусилля, передається з ПКМ на сталеву пластину зразка. Так як кріпильних елементів шість по всьому зразку, то зусилля на останньому КЕ повністю передаються на сталеву пластину. Таким чином, імовірно, руйнування зразка буде починатися в місці кріплення «сталь-композит» на останньому КЕ, і лише потім, внаслідок перерозподілу навантаження, будуть руйнуватися наступні КЕ.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Теоретичні аспекти проектування і розрахунку з'єднання «сталь-композит»

Для підвищення ефективності відновлення корпусних деталей в умовах ремонтної майстерні оптимальним є застосування ПКМ на основі скловолокна та зв'язуючого (С) – епоксидної смоли з затверджувачем ПЕПА і пластифікатором ДБФ. Зазначені компоненти найбільш раціональні за собівартістю, а виготовлений на їх основі КМ, володіє високими характеристиками міцності, діелектричними властивостями, досить низькою щільністю і високою атмосферо-, водо- і хімістійкістю.

В якості модифікаторів обрані ультрадисперсні порошки беміт $Al(OOH)$ і корунду Al_2O_3 , які збільшують зносостійкість поверхні до дії рухомих абразивних середовищ і, імовірно, допоможуть домогтися зміцнення поверхні композиту. При цьому не вивченим залишається питання впливу зазначених порошків (їх наявність і ступінь присутності) на властивості міцності обраних ПКМ.

Спираючись на проведений огляд літератури, можна зробити висновок, що заміна сталевих вузлів і деталей композитними технологічно можлива не тільки при виготовленні машини в серійне виробництво, але і при відновленні її в умовах ремонтної майстерні. Найбільш складним в цьому випадку є рішення задачі з проектування та розрахунку з'єднуючих агрегатів метало-композитних вузлів. Аналіз руйнування конструкцій підтверджує, що в переважній більшості випадків руйнування починається з вузлів і стиків елементів, так як саме там напруги розподілені найбільш нерівномірно.

Волокнисті і шаруваті КМ дозволяють підвищити ефективність конструкції і оптимізувати її по масі. Однак, існує ряд проблем, пов'язаних з

труднощами з'єднання деталей з КМ між собою і металевими елементами конструкції [13].

Одним з можливих варіантів вирішення поставленої задачі є застосування комбінованого з'єднання: в зоні монтажу металевих частин конструкції з елементами з ПКМ встановлюються кріпильні елементи (КЕ) особливої форми, які впроваджуються в пакет препреги ПКМ і піддаються спільної полімеризації. В результаті волокна основи в зоні з'єднання зберігають свою цілісність, а КЕ виявляються заформованими в тіло ПКМ. Реалізація такого з'єднання на практиці досить проста. Металева частина конструкції, попередньо очищена і знежирена, за допомогою закріплених КЕ, впроваджується в пакет препреги, утворений послідовно викладеними шарами склотканини, просоченими сполучною.

Для забезпечення надійного склеювання, в шар препреги, що безпосередньо контактує з металом додатково вводиться епоксидний клей (адгезив), щоб уникнути виникнення «голодного» з'єднання і як наслідок, низькою адгезійної міцності. У такому положенні здійснюється спільна полімеризація композиту з впровадженими КЕ.

Для подальшого вивчення в якості перспективних обрані: широко застосовуваний в авіації голчастий КЕ, трикутна пластина, а також пропонується новий КЕ – циліндричний штифт з списоподібним (лопатоподібною) кінцем. Останній, з огляду на специфіку ламінатних композитів, повинен забезпечити більш міцне з'єднання, особливо при навантаженні нормальною, висмикуючої силою. Імовірно на зусилля, що витримується пропонованим з'єднанням, буде впливати не тільки форма КЕ заформованими в композит, але і розташування цих КЕ, особливо пластин, по відношенню до навантаження; глибина впровадження; геометрія самого КЕ.

Так як досліджуване з'єднання в більшості експлуатаційних випадків знаходиться в складному напруженому стані, розглянемо на основі принципу незалежності дії сил кілька простих станів даного з'єднання. Навантаження,

що діє в пропонованому з'єднанні можна в першому наближенні розділити на осьове – зрізаюче КЕ, і нормальне – висмикувати КЕ. Визначити останню є досить складним завданням, оскільки в даний час не існує експериментально підтверджених методик її знаходження.

Теоретичні розрахунки [14] і експериментальні дослідження показують, що КЕ розташовані уздовж дії зрізаючого сили навантажені неоднаково. Тому, в подальшому, для уточнення теоретичних розрахунків і побудови більш коректної математичної моделі, пропонується враховувати дію внутрішніх сил в КЕ шляхом вирішення статично невизначеного завдання методом сил з введенням в коефіцієнти системи канонічних рівнянь коефіцієнта податливості (рис. 3.1).

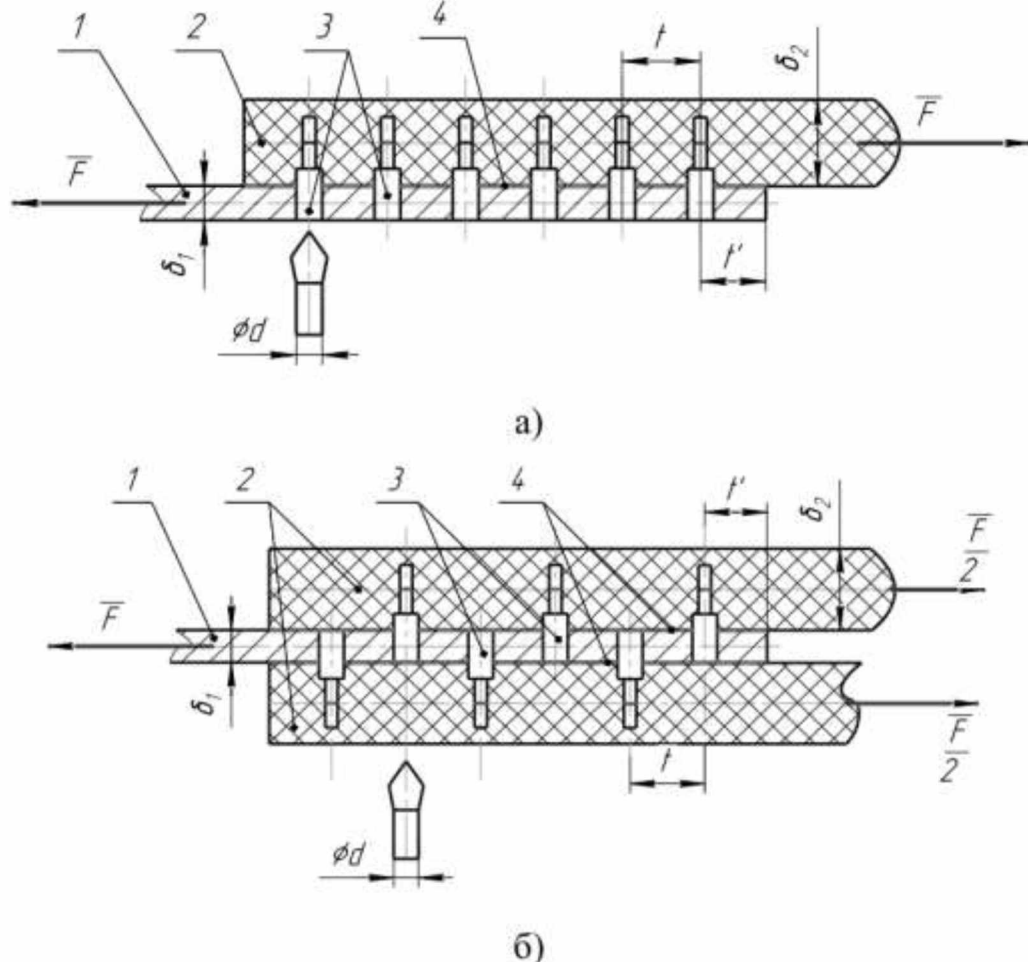


Рисунок 3.1 – Схеми дослідження метало-композитного з'єднання, де 1 – сталева пластина, 2 – деталь(і) з ПКМ, 3 – КЕ, 4 – епоксидний клей: а) «внапуск», б) «пакет»

Згідно [15] проектувальний розрахунок подібного з'єднання «сталь-композит» полягає у виборі параметрів, які відповідають таким умовам міцності: на зріз КЕ; на зминання КЕ і з'єднуються їм деталей; на зріз деталі до її краю або до наступного ряду КЕ; на руйнування деталей по ослабленому перерізу від її розтягування або стиснення. Крім перерахованого необхідно також врахувати руйнування адгезійного з'єднання листів ПКМ зі сталевим листом.

Розглянемо розрахунок при проектуванні з'єднань з шістьма кріпильними елементами (КЕ) типу:

- «внапуск», рис. 3.1, а (в зв'язку з можливістю його використання при кріпленні листа або профілю з композиту не тільки до сталевому листу, але і до будь-якого сталевому профілем (куточка, швелер, тавр, двотавр та ін.);

- «пакет» рис. 3.1, б (для виконання двостороннього кріплення, з симетричним зніманням навантаження).

Найбільш ймовірне руйнування досліджуваного з'єднання - це зріз КЕ:

$$t_{cp} = \frac{Q_{cp}}{A} J [t_{adm}]_{cp}, \quad (3.2)$$

де Q_{cp} – середня перерізуюча сила, що діє на КЕ, яку в подальшому будемо враховувати з поправочними коефіцієнтами K_p і K – коефіцієнтом перенапруги КЕ в розглянутому ряду (найчастіше в першому від кінця сталевому листу КЕ);

$$A = n \Psi \frac{p d^2}{4} \text{ – проща поверхні зрізу КЕ;}$$

n – число КЕ;

d – діаметр зрізаної частини КЕ;

$[t_{adm}]_{cp}$ – допустиме напруження матеріалу КЕ на зріз.

Умова міцності на зминання матеріалу сталевому листу:

$$s_{1cm} = \frac{N_1}{d_1 \Psi d} J [s_{adm}]_{1cm}, \quad (3.3)$$

де N_1 – поздовжня сила в листі сталі;

δ_1 – товщина сталевий деталі;

$[s_{adm}]_{1cm}$ – допустиме напруження зминання сталевий деталі.

Зім'яття ПКМ є досить складною характеристикою. В даний час не існує єдиної думки навіть про спосіб її експериментального визначення. Для проектувального розрахунку в першому наближенні можна скористатися емпіричної залежністю, отриманою в [16] для квазіізотропного склопластику (при розташуванні шарів ПКМ в декількох напрямках значення механічних характеристик будуть знаходитися між значеннями для поздовжньої і поперечної деформацій, а орієнтація шарів ПКМ в чотирьох напрямках $0/90^\circ/\pm 45^\circ$ дозволяє вважати отриманий матеріал ізотропним):

$$s_{2cm} = 325 - 25 \frac{d}{d_2} J [s_{adm}]_{2cm}, \quad (3.4)$$

де s_{2cm} – напруження зминання деталі з ПКМ;

δ_2 – товщина деталі з ПКМ;

d – діаметр КЕ;

$[s_{adm}]_{2cm}$ – допустиме напруження зминання деталі з ПКМ.

Ослабленим перетином є перетин в місці розташування КЕ. Умова міцності має вигляд:

$$s_{pi} = \frac{N_i}{A_i} = \frac{N_i}{d_i (b_i - m_i d_i)} J [s_{adm}]_{pi}, \quad (3.5)$$

де N_i – поздовжня внутрішня сила розтягування (стиснення);

A_i – площа з'днуваної деталі в небезпечному перерізі;

δ_i, b_i – ширина і товщина деталей, що з'єднуються;

m – число КЕ в одному поперечному ряду (на рис. 3.1 показані поздовжні ряди КЕ);

$[s_{adm}]_{pi}$ – допустиме напруження при розтягуванні (стисканні) матеріалу деталей;

i – номер досліджуваної деталі (в умовах дослідження 1 – сталева деталь, 2 – деталь з ПКМ).

Основним при проектуванні досліджуваного з'єднання є розрахунок КЕ на зріз на основі виразу (3.1), в якому необхідно враховувати як розташування КЕ щодо осі, що збігається з лінією дії розтягуючих сил F , за допомогою коефіцієнта K_p , так і податливість КЕ, яку позначимо аналогічно [15] C_n , де n – кількість і номер КЕ в поздовжньому ряду.

Коефіцієнт перенапруги:

$$K = \frac{Q_{\max}}{F}, \quad (3.6)$$

де $Q_{\max}$ – максимальна розрахункова поперечна сила в КЕ. Скористаємося методом сил для визначення поперечної сили в кожному КЕ – Q_i і виведення уточненої формули розрахунку КЕ на зріз.

Основна система (ОС) методу сил для заданої системи (рисунок 3.1, а) приведена на рис. 3.2.

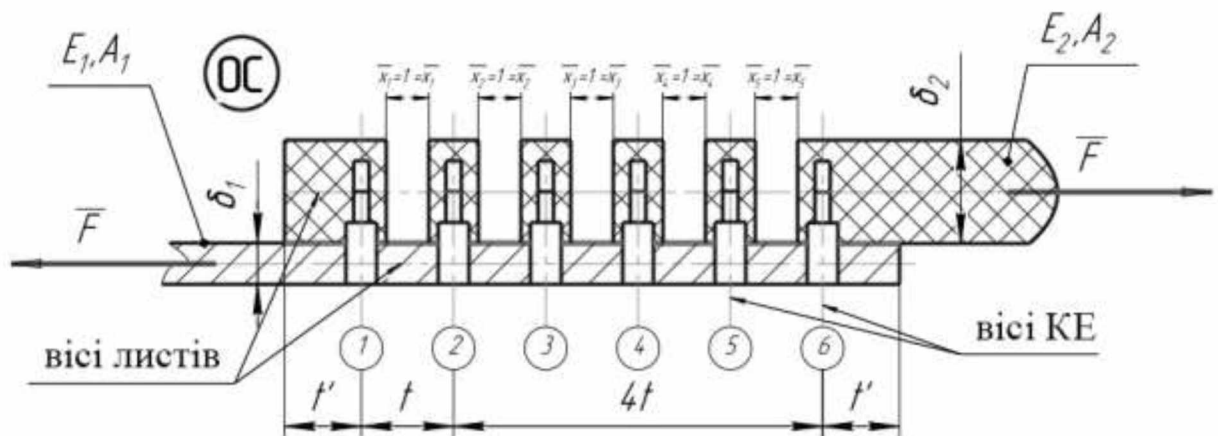


Рисунок 3.2 – Основна система методу сил при шести КЕ

Розрізаючи п'ять замкнутих контурів, отримаємо п'ятнадцять разів статично невизначену систему, при цьому внутрішні поперечні сили Q_i і згинальні моменти M_i врахуємо податливість зв'язків (КЕ) і самих листів 1 і 2. Тоді основними значеннями при підрахунку невідомих в системі канонічних рівнянь методу сил будуть внутрішні поздовжні сили N_i . ОС стане п'ять разів статично невизначеної (враховуються тільки поздовжні $X_{1/5}=1$).

При визначенні податливості КЕ замінимо площі поздовжніх перетинів листів сталі і композиту на рис.3.2 їх осями, з'єднавши останні з осями КЕ для зручності побудови епюр поздовжніх сил $N_{I/5}$, N_F (рис. 3.3), згинальних моментів $M_{I/5}$, M_F (рис. 3.3).

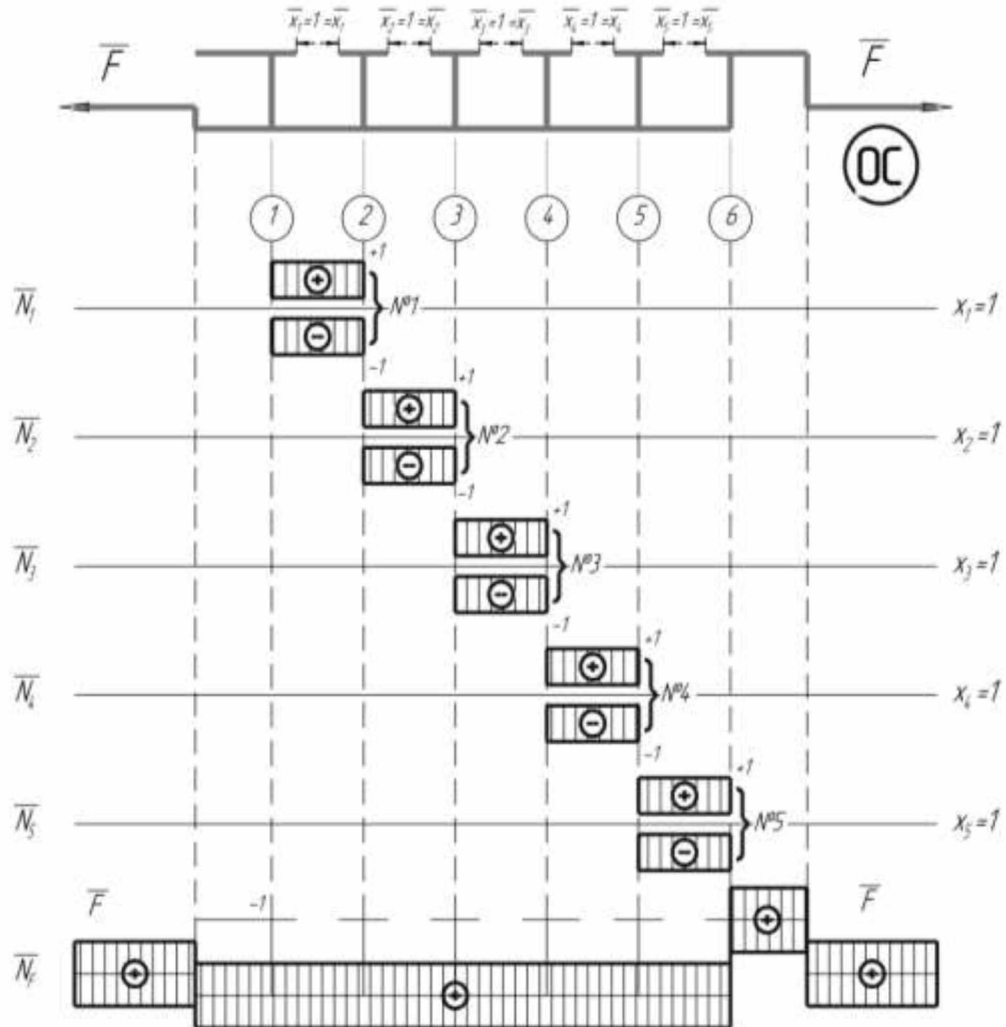


Рисунок 3.3 – Спрощена ОС і епюри $N_{I/5}$, N_F

Епюру поперечної сили Q_I врахуємо в податливості першого КЕ, інші епюри $Q_2 - Q_5$ і Q_F не беруть участь у визначенні податливості.

Метод сил дозволяє отримати трьохдіагональну матрицю, для з'єднання «внапуск» з будь-якою кількістю КЕ. У загальній формі рівняння запишеться у вигляді:

$$d_{k,k-1} \chi_{k-1} + d_{k,k} \chi_k + d_{k,k+1} \chi_{k+1} = -D_{kP}, \quad (3.7)$$

де $k = n - 1$, кількість ділянок, на яке поділяється усіма n КЕ поверхню стику, значення коефіцієнтів δ_{ij} визначаються за формулою:

$$d_{ij} = \sum_{i,j=1}^n \frac{N_i N_j}{E_i A_i} ds + \sum_i^{i+1} C_i. \quad (3.8)$$

При умовному перемножуванні епюр при знаходженні коефіцієнта δ_{11} для КЕ з номерами 1 і 2 отримуємо позитивні значення податливості C_1 і C_2 (знак C_1 або C_2 визначається за знаком умовно перемноження епюр abc на abc і del на del відповідно, частина епюри $clmp$ не враховується, тому що податливість листа вже врахована). При знаходженні, наприклад, коефіцієнта δ_{12} податливість негативна ($-C_2$), тому що при умовному перемножуванні M_1 і M_2 епюра del і епюра hfr мають протилежні знаки. При знаходженні коефіцієнта Δ_{5F} враховуємо, що $\delta_1 > 0,5\delta_2$, тоді при умовному перемножуванні епюри M_5 і вантажної епюри M_F податливість позитивна ($+C_6$).

3.2. Вивчення властивостей модифікованих ПКМ

Результати отриманих експериментальних даних зручно представити у вигляді графіків (див. рим. 3.4). Умовні позначення: C – зв’язуюча (епоксидна смола з відповідними добавками пластифікатор ДБФ і затверджувач ПЕПА).

Аналіз результатів показує, що межа міцності ПКМ при наскрізному просоченні зразків зв’язуючим з нанорозмірними модифікаторами у вигляді ультрадисперсних порошків беміт $Al(OOH)$ і корунду Al_2O_3 падає значно: на 44% і 34,7% відповідно при односпрямованій орієнтації шарів склотканини; на 29,6% і 28,6% відповідно при орієнтації шарів в трьох напрямках 0° ; 45° ; -45° .

Якщо ж додавати зазначені модифікатори тільки в покриття композиту, то межа міцності падає трохи менше: на 41,5% і 32,4% відповідно при

односпрямованої орієнтації шарів склотканини; на 11,3% і на 9,6% відповідно при орієнтації шарів в трьох напрямках 0° ; 45° ; -45° .

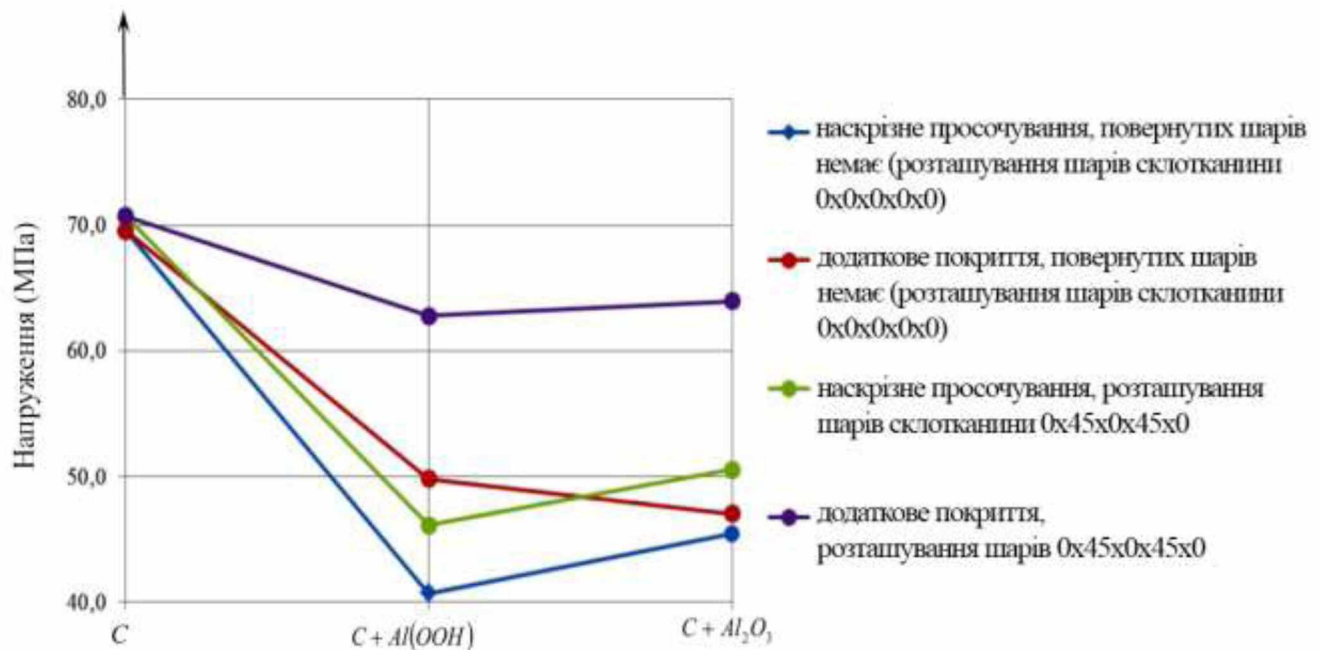


Рисунок 3.4 – Результати тестування по визначенню межі міцності ПКМ

При цьому, як і передбачалося, при орієнтації шарів в трьох напрямках 0° ; 45° ; -45° межа міцності значно вище, ніж при односпрямованої орієнтації шарів склотканини.

Отримані дані можна пояснити наступним чином. З одного боку частки наповнювача є концентраторами напружень. Одночасно при їх введенні зменшується частка поперечного перерізу матриці, що тримає навантаження. Крім того, окремі частинки порошків злипаються в зерна, тому для їх подальшого застосування необхідно розробити технологію поділу зерен на окремі частки. Саме ці чинники обумовлюють зменшення міцності для композитів, наповнених порошками.

Результати вивчення мікротвердості представлені на рис. 3.5.

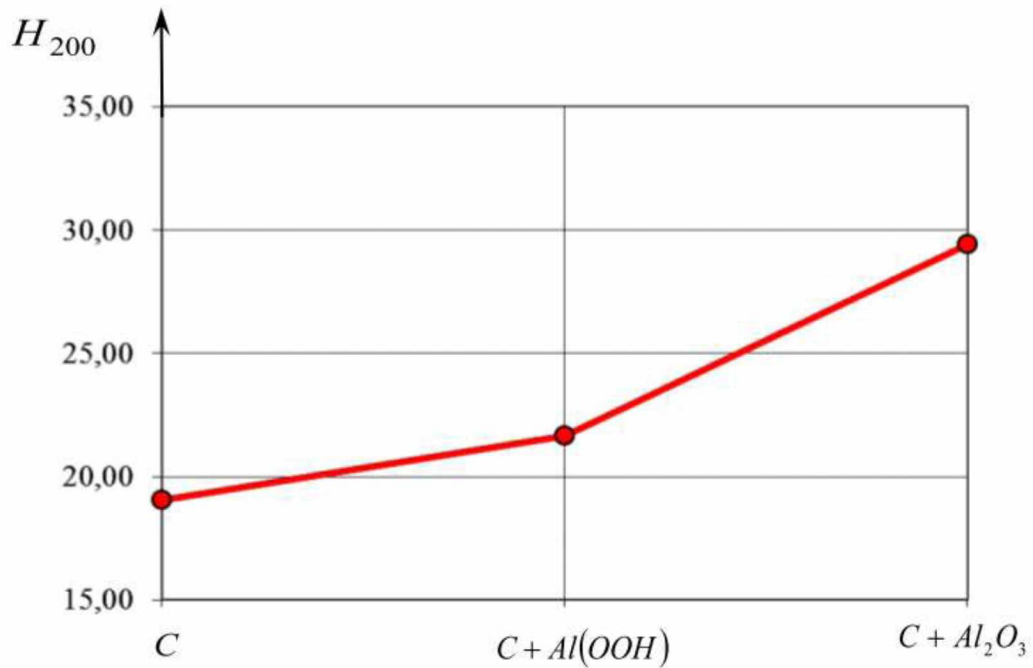


Рисунок 3.5 – Зміна мікротвердості при наявності розмірних модифікаторів

Розглянуто можливість зміцнення поверхні композиту з одночасним збільшенням зносостійкості до дії рухомих абразивних середовищ введенням в матрицю ультрадисперсних порошків беміт $Al(OOH)$ і корунду Al_2O_3 .

Проведено дві серії експериментів для визначення характеристик міцності і мікротвердості зразків, які відрізняються не тільки видом розмірних модифікаторів, ступенем їх присутності в зразку, але і взаємної орієнтацією односпрямованих шарів композиту.

Результати проведених експериментів і аналізу доступної літератури дозволяють зробити наступні висновки:

- введення ультрадисперсних порошків беміт $Al(OOH)$ і корунду Al_2O_3 в матрицю збільшують зносостійкість поверхні до дії рухомих абразивних середовищ;
- введення ультрадисперсних порошків беміт $Al(OOH)$ і корунду Al_2O_3 в матрицю значно знижує межу міцності ПКМ. Однак, якщо виготовляти ПКМ з орієнтацією шарів склотканини мінімум в трьох напрямках і вводити

порошки тільки в покриття, то зниження межі міцності не настільки істотне, приблизно 10 ... 11%;

- вид додаткового порошку не робить значного впливу на межу міцності;
- при введенні в покриття ПКМ ультрадисперсних порошоків беміт $Al(OOH)$ і корунду Al_2O_3 мікротвердість підвищується на 15% і 55% відповідно;
- з використанням спеціальної технології подрібнення зерен оксидів слід очікувати значного збільшення міцності і твердості композиту.

Отримані механічні характеристики ПКМ без нанорозмірних модифікаторів практично збігаються з довідковими даними, а зразки з додаванням ультрадисперсних порошоків мають знижені механічні характеристики. Отже, можна рекомендувати використання покриття з введенням обраних порошоків оксидів тільки в тих тонкостінних конструкціях сільськогосподарської техніки, і тільки тих їх частин, які піддаються дії рухомих абразивних середовищ (силосопровода, бункерних систем та ін.), а зниження межі міцності враховувати збільшенням коефіцієнта запасу при проектувальних розрахунках.

Результати дослідження навантаження, яке витримується зразком в залежності від розташування КЕ по відношенню до сили зрушування представлені на рис. 3.6.

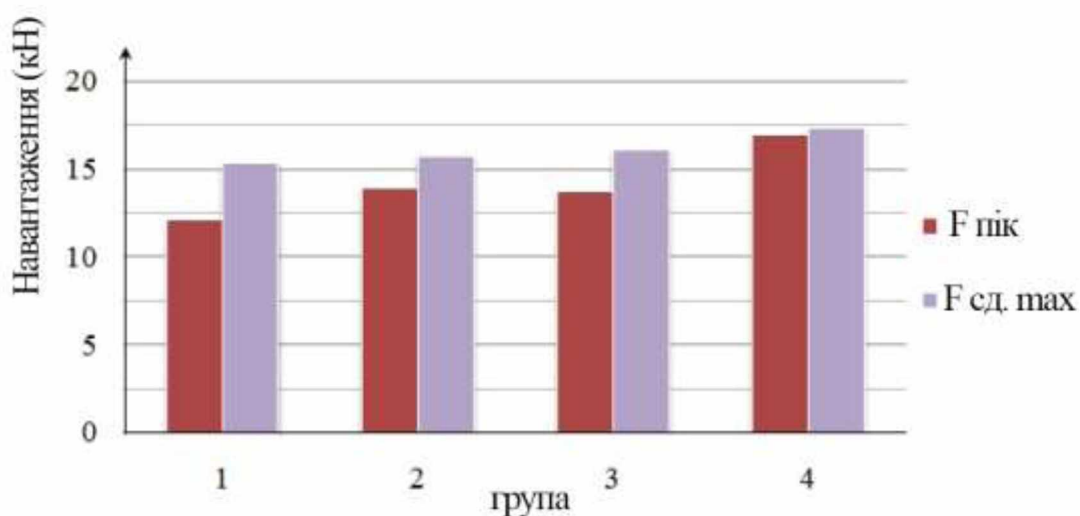


Рисунок 3.6 – Навантаження, що витримується зразком в залежності від розташування КЕ по відношенню до сили зрушення

Експеримент підтверджує, що в більшості випадків залишилися КЕ продовжують утримувати конструкцію ще деякий час (локальне руйнування не знижує несучу здатність з'єднання в цілому), $F_{сдmax} > F_{ник}$, що при розрахунку по $F_{ник}$ додає з'єднанню певний запас міцності.

Відповідно до цього для застосування отриманих результатів на практиці введемо безрозмірний коефіцієнт K_p , що відображає вплив геометрії розташування кріплення на працездатність з'єднання «сталь-композит» під дією зрушувального навантаження, результати зведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнта K_p

Група	$F_{пик}$, Н	K_p
1	12076,8	1,00
2	13872,2	1,15
3	13714,7	1,14
4	16916,5	1,40

Аналіз результатів проведеного експерименту показав, що при розташуванні площині лопатки КЕ під кутом 45° до сили зрушення (паралельно один одному), навантаження, що витримується зразком до початку руйнування з'єднання на 15 ... 40% вище, ніж при розташуванні площині лопатки КЕ уздовж цієї сили або перпендикулярно до неї (рис. 3.7). Таке розташування КЕ більш технологічно з точки зору виконання кріплення, ніж розташування зі зміною кута, і дає кращі показники по витримуваному навантаженні, згідно з експериментальними даними.

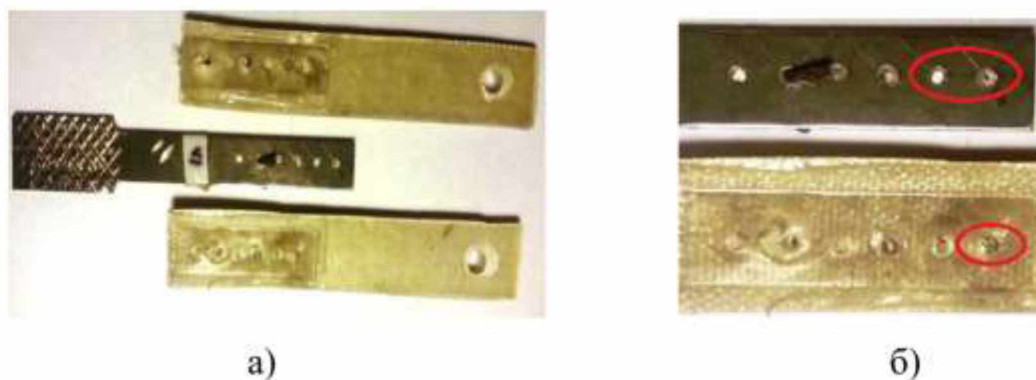


Рисунок 3.7 – Зразок металокомпозитного з'єднання після руйнування – (а); вид руйнування (зріз з вириванням КЕ) – (б)

Крім того, аналіз всіх зразків після руйнування, не залежно від взаємного розташування КЕ, показав, що на початку руйнування відбувається зріз крайнього праворуч КЕ (рис. 3.7. б), що дозволяє виконувати проектувальний розрахунок таких з'єднань за методикою, запропонованої вище. Нарешті, збільшення витримуючої зрушувального навантаження при проектувальному розрахунку з'єднання «сталь-композит» можна врахувати отриманим емпіричним коефіцієнтом КР.

3.3. Проектування та інженерний розрахунок з'єднання «конфузор - ремонтний фланець»

Основоположним у виготовленні метало-композитного з'єднання є технологія його проектування. Вона повинна бути побудована на досить простому розрахунку на міцність, який зміг би провести будь-який інженер-механік, озброєний персональним комп'ютером.

При проектуванні деталей з ПКМ мають прототип, виготовлений з металу, проводять наближений розрахунок товщини оболонки, згідно [17]:

$$\frac{\delta_{км}}{\delta_{ст}} = \sqrt{\frac{E_{ст}}{E_{км}}}, \quad (3.9)$$

де: $\delta_{км}$, $E_{км} = 10$ ГПа – товщина і модуль пружності оболонки з ПКМ [18]; $\delta_{ст} = 2$ мм, $E_{ст} = 200$ ГПа – товщина і модуль пружності сталеві оболонки.

Таким чином, наближена товщина стінки конфузора, виготовленого з ПКМ:

$$\delta_{км} = \delta_{ст} \sqrt{\frac{E_{ст}}{E_{км}}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{200}{10}} \approx 8,5 \text{ мм}. \quad (3.10)$$

Розрахунок з'єднання «внапусток» проводиться за методикою, описаною вище. Система рівнянь доповнюється визначенням коефіцієнта перенапруги K для визначення найбільш навантажених перерізуючою силою КЕ.

КЕ конфузора (1) в місці його стику з фланцем, що прикріплюється болтами до основи (4), працюють на зріз і на відрив, при дії моменту від сил тяжіння самого конфузора G_k , силосопровода G_c і перенесеного сипучого вантажу G_k (рис. 3.8). Розвантажувальний ефект фермового підкріплення, керуючого поворотним вузлом 3 пристрої, в запас можна не враховувати.

Сумарний момент $M_\Sigma = M_G + M_{(G'+G_k)}$ біля основи конфузора створюватиме силу $F' = \frac{M_\Sigma}{l}$, а сума всіх сил тяжіння в проекції на вісь X дасть зрізаючу силу $2F$ (враховуються 2 поздовжніх ряди КЕ по осі X).

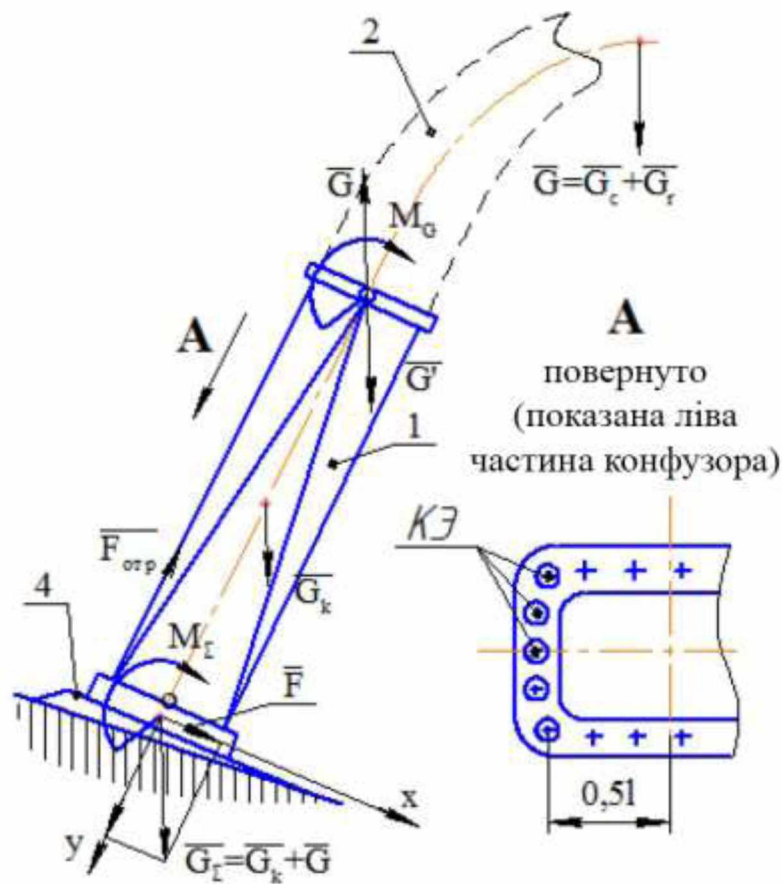


Рисунок 3.8 – Розрахунково-силова схема конфузора

В запас можна припустити, що відриваюча сила $F_{отр} = (F' - G_{\Sigma y})$ рівномірно розподілена по всьому КЕ поперечного ряду кріплення композитної частини конфузора до сталевго фланця, позначеними знаком + на рис. 3.8 (вид А). Позначимо число таких КЕ – z , тоді сила, що вириває один КЕ:

$$F_{KE} = \frac{F_{omp}}{z}. \quad (3.11)$$

З (3.3), на основі емпіричної формули (3.1) можна визначити, чи витримає дане з'єднання зовнішнє навантаження F_{omp} , тобто:

$$F_{\epsilon \max} < F_{KE}. \quad (3.12)$$

Для розрахунку на міцність клейо-штифтового з'єднання (за допомогою епоксидного клею і сталевих списоподібних КЕ) композитної частини конфузора - 1 кормозбирального комбайна зі сталевим ремонтним фланцем (рис. 3.8):

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{cp} = \frac{KQ_{cp}}{K_p A} \leq \tau_{adm}, \\ \sigma_{1cm} = \frac{N_1}{\delta_1 \cdot d} \leq (\sigma_{adm})_{1cm}, \\ \sigma_{2cm} = 325 - 25 \cdot \frac{d}{\delta_2} \leq (\sigma_{adm})_{2cm}, \\ \sigma_{pi} = \frac{N_i}{\delta_1 (b_i - m_i d_i - k_i D_i)} \leq (\sigma_{adm})_{pi}, \\ F_{\epsilon \max} = -923,254 + 344,43a + 58,25l_3 - 6,69a \cdot l_3 < F_{KE}, \\ \tau_K = \frac{F_K}{A_K} \leq \tau_{Kadm}, \end{array} \right. \quad (3.13)$$

де Q_{cp} – середня перерізуюча сила, що діє на КЕ, визначається діленням F на число КЕ в одному ряду (визначення K ведеться з урахуванням половини зрізаючої сили F для одного поздовжнього ряду КЕ, а зріз КЕ поперечного ряду враховується їх піддатливість в крайніх КЕ поздовжнього ряду, яка буде дорівнює $0,5zC$);

k_i, D_i – кількість і діаметр отворів під кріплення в сталевих фланці, зрізаних з зношеного корпусу конфузора і закріплених на композитному аналогу за допомогою знову розробленого метало-композитного з'єднання;

F_{KE} визначається з виразу (3.2) з урахуванням відриває сили біля основи конфузора і сил тяжкості конфузора, силосопровода і переноситься сипучого вантажу.

Запропонована, як варіант, оболонкова конструкція з ПКМ потребує перевірного розрахунку на міцність, так як наближений розрахунок товщини стінки є орієнтовним.

Конфузор є тонкостінна оболонка складної конфігурації, розрахунок на міцність якої зводиться до визначення показників міцності у всіх точках поверхні, для визначення зон концентрації напружень.

В якості граничних умов моделі задавалося жорстке закладення по контуру кріплення конфузора до рами. На конфузор діє навантаження від ваги переходника і силосопровода, яке спрощено задавалося рівномірно розподіленим по циліндричній частині горловини.

Також враховувалося об'ємне навантаження від власної ваги конструкції. Коефіцієнт динамічності 2,5. Кінцево елементна сітка складається з плоских елементів топології QUAD4. Товщина по всій моделі 8,5 мм. Закріплена модель по нижньому контуру: заборонені лінійні переміщення по трьом координатним осях. Навантаження: власна вага імітувалася інерційним навантаженням з прискоренням 10 м/с^2 під кутом 73° до поздовжньої осі конфузора. Вага транспортованого сінажу ($\sim 330 \text{ кг}$) прикладалася рівномірно до 28 кінцевих елементів верхньої обичайки також під кутом 73° до поздовжньої осі.

Аналіз напружено-деформованого стану, проведений методом кінцевих елементів, показав, що максимальні еквівалентні напруження в ремонтному конфузорі, що відрізняється від свого прототипу, виконаного з металу, тільки товщиною стінки, виникають по верхнього фланця і не перевищують 10 МПа , що менше допустимих напружень для обраного матеріалу ($\sigma_b = 60 \dots 70 \text{ МПа}$) в шість разів.

Так як рівень напружень нижче 60% від граничного, то вплив кліматичного старіння, згідно [18], незначний.

Таким чином, в остаточній конструкції конфузора, виконаного з композиційного матеріалу можливе призначення товщини стінки за спрощеним розрахунком.

Висновки

Результати проведених експериментів дозволяють зробити наступні висновки:

- найбільш раціональним K_{TP} з'єднання «сталь-композит» з розглянутих, є з'єднання КЕ з законцовкою в формі списоподібної (лопатоподібною) пластини з потовщеними плічками;
- збільшення ширини лопатки КЕ призводить до збільшення витримується навантаження, а зміна глибини впровадження КЕ має незначний вплив і, отже в проектувальних розрахунках може вибиратися з технологічних міркувань;
- набір подібних КЕ, запресованих в металеву пластину у вигляді гребінки можна використовувати в конструкціях з'єднань «сталь-композит», що працюють на зрушення або знаходяться в складному напруженому стані, при цьому розрахунок таких з'єднань здійснюється на зріз КЕ, а оптимальне розташування площині лопатки КЕ в конструкції – під кутом до зрушувального навантаження – враховується отриманим емпіричним коефіцієнтом K_P .

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза розробок

Екологічна паспортизація ремонтно-обслуговуючих підприємств є одним з ефективних перспективних засобів охорони навколишнього природного середовища. Екологічний паспорт підприємства належить до його основної проектно-технічної документації. Поряд з технологічним регламентом він повинний бути на кожному підприємстві. У цьому документі наведені дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

У першій частині паспорта наводяться загальні відомості про виробництво: назва підприємства та продукції, що виробляється, район розташування, його потужність, займана площа, кількість працюючих та основні витратні величини споживаної сировини, води, енергії, палива, пари, повітря тощо, а також відомості про споживану сировину, джерела водо- і теплопостачання, короткий опис технологічних схем виробництва основної продукції, технології очищення газо- димових викидів в атмосферне повітря та стічних вод, оборотність, зберігання, транспортування та вилучення твердих відходів (назва, кількість, хімічний склад та деякі основні властивості, технологія відновлення або виготовлення), утримання приміщень і споруд, плани дій в аварійних умовах, небезпечні матеріали, відомості про кращі альтернативні технології, що застосовуються на інших підприємствах країни чи світової практики і завдають меншої шкоди довкіллю.

Характеризується також санітарно-захисна зона підприємства (площа зони, прилеглі об'єкти, її оформлення).

У другій частині паспорта відображені заплановані природоохоронні

заходи із зазначенням конкретних термінів, виконавців, обсягів і витрат, питомих і загальних газо-димових викидів в атмосферне повітря і скидів стічних вод та відходів виробництва до і після впровадження кожного заходу.

Екологічні паспорти дають змогу зробити аналіз екологічного середовища в регіоні, порівняти техніко- і еколого-економічні дані з даними інших підприємств, що характеризуються природоохоронними заходами.

Одночасно можна оцінити й ефективність застосованої технології, повноту використання матеріалів й палива, ефективність технології очищення стічних вод і газо-димових викидів.

Можна також зробити еколого-економічну оцінку збитків взагалі і завданих природі зокрема, ефективність використання палива та енергії.

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення, виснаження поверхневих чи підземних вод, джерел питної води або зміна її природних властивостей можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий плив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання: порушення; порушення, що завдали значних збитків; порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

Залежно від величини заподіяних збитків це можуть бути штрафи, заборона обіймати певні посади на встановлений термін, виправні роботи та позбавлення волі на визначений законом термін.

Система екологічного менеджменту в країні визначається і регламентується Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища» Згідно з цим законом, метою державного управління в галузі охорони довкілля є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища. Отже, державний екологічний менеджмент включає чотири основні функції:

- здійснення природоохоронного законодавства;
- контроль за екологічною безпекою;
- забезпечення проведення природоохоронних заходів;

- досягнення узгодженості дій державних і громадських органів.

Ринково орієнтована економіка охоплює такі групи функцій екологічного менеджменту: реструктуризація виробництва, приватизація, створення конкурентного середовища і ринкового ціноутворення.

На рівні підприємства до загальних функцій управління належить:

- формування екологічної політики;
- визначення екологічних цілей та завдань відповідно до екологічної політики;
- розроблення стратегічного плану реалізації екологічної політики;
- розроблення та реалізація програми екологічного управління;
- формування екологічної свідомості та мотивування;
- ведення документації екологічного менеджменту;
- оперативне управління, аналіз та вдосконалення.

Виконання системоутворювальних функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей та можливих негативних екологічних наслідків.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- гарантування безпечного життя довкілля;
- наукова обґрунтованість життя довкілля;

– державне регулювання та законність.

Державну екологічну експертизу об'єктів загальнодержавного і міжобласного значення проводить управління екологічної системи України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки.

Законом «Про екологічну експертизу», прийнятим Верховною Радою України у 1995 р., передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво [31].

Висновки громадської експертизи направляють в органи, що здійснюють державну екологічну експертизу, центральні й місцеві влади, замовникам проекту.

4.2. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE [32]. Безпека життя та праці сьогодні формується як меганаука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об’єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов’язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров’я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров’я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

При нанесенні покриттів на робочі поверхні робітник має справу з різноманітними пристроями та обладнанням.

Основними технічними засобами охорони праці в цьому випадку є захисні пристрої.

Для запобігання захоплення, удару робочими механізмами всі види передач різних верстатів і установок, які використовуються при відновленні гільз і нанесенні покриттів повинні мати огорожувальні пристрої - кожухи, щити, екрани, козирки, планки, бар'єри (суцільні та сітчасті).

Крім того застосовують: блокувальні пристрої (механічні, електронні, електричні, пневматичні, гідравлічні), пристрої, до яких відносяться системи захисту від ураження електричним струмом, пристрої сигналізації.

Для безпеки експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок необхідно забезпечити захисне заземлення.

При виявленні нагріву тертьових деталей, появі гару або диму верстат потрібно негайно зупинити і приступити до гасіння пожежі наявними засобами, викликати пожежну команду. Двигун, що загорівся, або електропроводку необхідно гасити сухим піском або вогнегасником (вуглекислотним або порошковим). При значному поширенні пожежі, коли його не можна ліквідувати наявними на ділянці засобами, робітники будуть евакуюватися через заздалегідь передбачену необхідну кількість дверей.

Запропоновано пристосування для нанесення покриттів на поверхні зношених деталей. Характерною особливістю є використання різноманітних хімічних речовин.

Робота з такими речовинами створює небезпеку отруєнь, опіків та професійних захворювань. Вдихання шкідливих речовин призводить до ураження верхніх дихальних шляхів і загальнотоксичного впливу. Попадання кислот і лугів на шкіру може викликати подразнення або опік. Тому необхідно працювати в спеціальній захисній формі.

Поряд з хімічними небезпечними і шкідливими факторами технологічний процес характеризується і фізичними факторами: шумом, вібрацією, запиленістю та ін.

Щоб захистити працюючих від запиленості, шуму і вібрації потрібно встановити в приміщенні вентиляцію, кондиціонери, звукоізолюючі кожухи, екрани, стіни, перетинки, які виготовляють із щільного матеріалу.

Також для працівників повинні проводитись всі потрібні інструктажі і навчання з охорони праці, повинен бути журнал з проведення інструктажів, з відповідними замітками.

Висновки щодо підвищення стану охорони праці

У розділі охорони праці дипломного проекту представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби;

4.3. Техніко-економічне обґрунтування розробок

Одним з основних недоліків металевих оболонкових конструкцій є низька зносостійкість поверхні до абразивного зносу, що призводить до значного зниження терміну служби виробу і замість належних 8 ... 10 років, в 7% випадків поломка відбувається раніше.

При використанні ремонтного конфузора з ПКМ з покриттям гелкоутом термін служби можна продовжити, отже всі комбайни допрацюють свій ресурс без поломки.

Повна собівартість виробу визначається за формулою:

$$S_{нов} = \left[(S_m + S_n) + L \left(1 + \frac{k_1 + k_2 + k_3}{100} \right) + L \frac{\alpha}{100} + \left(L + L \frac{\alpha}{100} \right) \frac{\beta}{100} \right] \left(1 + \frac{k_4}{100} \right),$$

де S_m – витрати на основні матеріали (для конфузора $S_m = 5034$ грн.);

S_n – витрати на допоміжні матеріали, беруться з розрахунку до 10% від основних (для конфузора $S_n = 503,4$ грн.);

L – витрати на основну заробітну плату виробничих робітників;

k_1 – відсоткове відношення витрат з утримання обладнання, $k_1 = 10\%$;

k_2 – відсоткова ставка загальноцехових витрат, $k_2 = 430\%$;

k_3 – відсоткове відношення загальногосподарських витрат, $k_3 = 46,8\%$;

k_4 – відсоткова ставка позавиробничих витрат, $k_4 = 56,6\%$;

α – виробниче відношення додаткової заробітної плати, $\alpha = 19\%$;

β – відсоток відрахувань на соціальне страхування основних виробничих робітників, $\beta = 32,8\%$.

Витрати на основну заробітну плату виробничих робітників, розраховуються за тарифними ставками при відрядній оплаті праці та з урахуванням норм часу на виготовлення одного конфузора комбайна КПФ-2,4:

$$L = \frac{L_{сд}}{F_{др}} T_{виг}, \quad (4.2)$$

де $L_{сд}$ – основна заробітна плата робітників ($L_{сд} = 57000$ грн.);

$F_{др}$ – дійсний фонд робочого часу ($F_{др} = 176$ н.-год./міс.);

$T_{виг}$ – трудомісткість виготовлення одного виробу, ($T_{виг} = 42,6$ н.-год.).

$$L = \frac{57000}{176} \cdot 42,6 = 13800 \text{ грн.}$$

Тогда из (5.5) имеем для конфузора:

$$S_{нов}^{ст} = \left[(5034 + 503,4) + 13800 \cdot \left(1 + \frac{10 + 430 + 46,8}{100} \right) + \right. \\ \left. + 13800 \cdot \frac{19}{100} + 13800 \cdot \left(1 + \frac{19}{100} \right) \cdot \frac{32,8}{100} \right] \cdot \left(1 + \frac{56,6}{100} \right) = 148025$$

Відпускна ціна заводу виробника визначається за формулою:

$$Ц = S_{нов} \left(1 + \frac{P + ПДВ}{100} \right), \quad (4.3)$$

де P – плановий рівень прибутку.

$$Ц = 148025 \cdot \left(1 + \frac{20 + 18}{100} \right) = 204275.$$

Собівартість повного виготовлення конфузора буде складатися із собівартості виготовлення частини з ПКМ і собівартості виготовлення КЕ (в якій врахуємо також вартість монтажу, знову розробленого клейо-штифтового з'єднання з дискретними зв'язками).

Розрахунок здійснюється за формулою (4.1) з урахуванням наступних вихідних даних:

- витрати на основні матеріали: для конфузора $S_m = 9132$ грн., Для КЕ $S_m = 104$ грн.;
- витрати на допоміжні матеріали: для конфузора $S_n = 913,2$ грн., Для КЕ $S_n = 10,4$ грн.);
- процентне відношення витрат з утримання обладнання $k_1 = 10\%$;
- процентне відношення загальноцехових витрат $k_2 = 20\%$;
- процентне відношення загальногосподарських витрат $k_3 = 25\%$;
- процентне відношення позавиробничих витрат $k_4 = 35\%$;
- виробниче відношення додаткової заробітної плати $\alpha = 15\%$;
- відсоток відрахувань на соціальне страхування основних виробничих робітників $\beta = 35,8\%$.
- основна заробітна плата робітників при відрядній оплаті праці: для конфузора $L_{cd} = 35000$ грн., Для КЕ $L_{cd} = 35000$ грн.
- дійсний фонд робочого часу $F_{dp} = 151$ люд.-год./міс.;
- трудомісткість виготовлення одного виробу: для конфузора $T_{виг} = 16$ люд.-год., Для КЕ $T_{виг} = 20$ люд.-год.

Витрати на основну заробітну плату виробничих робітників (4.2) на виготовлення конфузора:

$$L = \frac{35000}{151} \cdot 16 = 3700 \text{ грн.}$$

$$\text{На виготовлення і монтаж кріплення: } L = \frac{57000}{151} \cdot 20 = 7550.$$

У загальному випадку капітальні витрати на впровадження технології відновлення корпусних деталей сільськогосподарської техніки при ремонті ПКМ пов'язані з виготовленням оснастки (моделі конфузора).

Розрахунок собівартості виготовлення оснастки здійснюється за формулою (4.2) з урахуванням наступних даних:

- витрати на основні матеріали $S_m = 3000$ грн.;
- витрати на допоміжні матеріали $S_n = 300$ грн.;
- основна заробітна плата робітників при відрядній оплаті праці $L_{cd} = 35000$ грн.;
- дійсний фонд робочого часу в місяці $F_{dp} = 151$ люд.-год.;
- трудомісткість виготовлення оснащення конфузора $T_{виэ} = 28$ люд.-год.

Експлуатаційні витрати на обслуговування комбайна пов'язані з заходами щодо захисту від корозії (фарбування). При експлуатації сталевих деталей фарбування проводиться 1 раз в 2 роки, тоді як деталям з ПКМ в ньому немає потреби взагалі. Вартість фарбування можна визначити з (4.2), при цьому витратами на основні матеріали буде вартість фарби, а витрати на допоміжні матеріали відсутні.

Вартість фарбування розраховується за формулою:

$$S_m = G_{кр} C_{кр}, \quad (4.4)$$

де $G_{кр}$ – кількість фарби, необхідної для фарбування конфузора комбайна, $G_{кр} = 1,88$ кг;

$C_{кр}$ – вартість фарби, $C_{кр} = 386$ грн. / тг (швидкосохнуча антикорозійна довговічна фарба по металу і іржі Ammerheim).

Тоді:

$$S_m = 1,88 \cdot 386 = 670 \text{ грн.}$$

З огляду на все вище викладене, можна розрахувати передбачуваний економічний ефект від впровадження технології відновлення конфузора:

$$E = \Pi_{ст} - \Pi_{ПКМ} - S_{осн} + C_{обс} =$$

$$= 204275 - 63487 - 22957 + 2276 = 120107 \approx 120000 \text{ грн.}$$

Таким чином передбачуваний економічний ефект від впровадження складає 120 000 грн.

4.4. Технологічні рекомендації

В результаті узагальнення матеріалів теоретичних і експериментальних досліджень пропонується можливий варіант відновлення тонкостінних деталей сільськогосподарської техніки шляхом застосування склокомпозиту і метало-композитних сполук, на прикладі полегшеної конструкції тонкостінної корпусної деталі «конфузор» кормозбирального комбайна КПФ-2,4 (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – Загальний вигляд комбайна КПФ-2,4

Об'єкт для відновлення запропонований в зв'язку з досить великим обсягом рекламаций від замовників, що надходили в процесі випуску комбайна.

Причіпний спеціалізований кормозбиральний комбайн КПФ-2,4 призначений для скошування, подрібнення і навантаження багаторічних і сіяних трав, а також інших культур. Скошена і подрібнена маса, під дією відцентрової сили інерції, отриманої від обертових ножів ротора, потрапляє в конфузور, де її потік звужується і потім, проходячи через силосопровод, вивантажується в транспортний засіб.

Нижня частина конфузора жорстко кріпиться по контуру до рами корпусу комбайна, а зверху до нього кріпиться силосопровод. Цей вузол являє собою консоль, яка жорстко закріплена на рамі, і несе статичні (під дією власної сили тяжіння деталей і вузлів конфузора і силосопровода) і динамічні (пов'язані з вібрацією при обертанні подрібнюючого ротора, і при копіюванні під час руху нерівній поверхні поля) навантаження.

В результаті дії динамічних навантажень, спостерігалось руйнування матеріалу конфузора і силосопровода в місцях зварних з'єднань і в зонах концентрації напружень. Суттєвою проблемою був абразивний знос, при проходженні скошеної і подрібненої маси через конфузор і силосопровод, а також низька корозійна стійкість деталей, що приводило до зниження ресурсу даного вузла.

Виходячи з цього, а також з огляду на відсутність запасних частин, необхідно знайти раціональне конструктивне рішення, що дозволяє усунути перераховані проблеми, а також знизити масу конструкції при одночасному збереженні функціональних якостей і собівартості виробу при ремонті на рівні, що забезпечує конкурентоспроможність в ринкових умовах.

Використання машини в реальних умовах показало, що трирічна експлуатація комбайна при заготівлі сінажу призводить до інтенсивного корозійного зносу місць кріплення фланців і кронштейнів системи управління поворотом силосопровода, а також оболонки самого конфузора.

Його складна форма, що враховує аеродинаміку потоку повітря, що переносить подрібнений вантаж, передбачає виготовлення даного агрегату при серійному виробництві за допомогою спеціального оснащення і точних слюсарно-зварювальних робіт.

У той же час зовнішня поверхня конфузора піддається впливу шкідливих факторів навколишнього середовища. Склопластик, запропонований для виготовлення деталей вузла, не володіє стійкістю до абразивного зношування, тому виникає необхідність в якісному захисному покритті поверхні до дії рухомих абразивних середовищ. Емалі, що випускаються промисловістю, не придатні для використання в якості захисту від абразивного зносу і малоприматні для захисту склопластику від впливу навколишнього середовища. Щоб забарвити готову деталь і захистити її від зовнішніх впливів, застосовують спеціальний матеріал – гелькоут. Він являє собою смола, до якої доданий фарбник.

Ще одна функція гелькоута – продовження терміну служби виробу, захист його від несприятливих зовнішніх впливів і маскування структури склопластику. Завдяки гелькоута готовий виріб виходить з рівною поверхнею, забарвленою в необхідний колір. За допомогою порошкових наповнювачів можна не тільки фарбувати гелькоут, але і значно змінювати його механічні характеристики.

Для забезпечення корозійної стійкості і зниження абразивного зносу рекомендується застосовувати гелькоут з додаванням ультрадисперсного порошку корунду або беміту. Якщо корпусні деталь великих габаритів потрібно виготовити в одному екземплярі, що характерно для ремонтних робіт, то витрати на виготовлення моделі та форми не окупаються.

Разом з тим технологія виготовлення одноразової моделі для викладки оболонки конфузора може бути вельми проста, і заснована на заповненні внутрішнього обсягу, знятого з комбайна, зношеного конфузора.

З метою підвищення зносостійкості внутрішньої поверхні виготовляється ремонтного конфузора перший лист, що накладається на

одноразову модель, попередньо оброблену антиадгезійною змазкою (парафіном), просочується сполучною з додаванням порошку беміт або корунду в соотношенні 60% смоли на 40% дрібнодисперсного наповнювача.

Зовнішню поверхню покривають гелем на основі смоли і порошку барвника. (Гелькоут повинен бути досить рідким, для отримання більш рівномірного шару його краще наносити фарбопультотом або за допомогою спеціального обладнання. Зовнішній шар гелькоута, що виконує роль фарби, наноситься після вилучення виробу з матриці).

Найбільш складне питання – виконання з'єднання нового конфузора зі сталевими агрегатами комбайна – корпусом і силосопроводом. Беручи до уваги результати робіт, пропонується формувати зазначені сполуки на основі сталевих фланців. Дане співвідношення є оптимальним для органічних частинок, які переносяться струменем повітря (подрібненої трав'яної маси).

При цьому з'єднання сталевий 1 і композитної 2 частин здійснюється на основі кріпильних елементів (КЕ) 3 і епоксидного клею 4 в «мокрому» стані, за допомогою вакуумної технології. Технологічно здійснення такого з'єднання досить просто. КЕ можна виготовити з низьковуглецевої сталевий дроту за допомогою звичайних слюсарних інструментів, а в великих кількостях – за допомогою холодного об'ємного штампування (ХОШ). При холодній деформації відбувається деформаційне зміцнення, наслідком якого є підвищення межі міцності всіх металевий сплавів в 1,5÷2,5 рази, в залежності від хімічного складу. Циліндричні частини КЕ обробляються епоксидним клеєм і закріплюються за пресової посадки в отворах, просвердлених в сталевому листі, з'єднання композитного і сталевий листів проводиться послідовним втискуванням гострих кромки КЕ в «мокрый» композитний лист.

Для забезпечення надійного склеювання, в шар препреги що безпосередньо контактує з металом додатково вводиться епоксидний клей, щоб уникнути виникнення «голодного» з'єднання і як наслідок, низькою адгезійної міцності. Вакуум створюється всередині поліетиленовий мішка за

допомогою насоса. З метою збереження взаємного розташування деталей комбайна відносно один одного пропонується використовувати шаблонно-стапельні збірку. Стапель у вигляді дерев'яної рами, виконаний перед розбиранням ремонтується вироби (за шаблоном) допоможе забезпечити геометричні параметри взаємного просторового положення елементів конструкції (корпусу конфузора з ПКМ і приєднуються металевих фланців): співвісність, взаємну перпендикулярність привалочних площин і ін.

Після виготовлення ремонтної деталі з ПКМ збірку виконують в стапелі агрегату; через обмежені умови і обмеженого доступу тут також переважають ручні роботи і продуктивність праці не висока.

Висновки

Економічний ефект від впровадження стосовно відновлення конфузора комбайна КПФ-2,4 становить 120 тис. грн. в цінах вересня 2021 р.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовано використання склотканини Т-10; епоксидної смоли ЕД-6 із затверджувачем ПЕПА і пластифікатором ДБФ в якості компонентів полімерного композиційного матеріалу (ПКМ), що дозволяє підвищити ефективність відновлення корпусних деталей сільськогосподарської техніки в умовах ремонтної майстерні.

2. Дослідженням встановлено, що покриття ПКМ гелькоутом з додаванням порошку беміт або корунду в співвідношенні 60% смоли на 40% дрібнодисперсного наповнювача (дане співвідношення є оптимальним для органічних частинок, які переносяться струменем повітря), при орієнтації односпрямованих шарів композиту мінімум в трьох напрямках, дозволяє підвищити поверхневу твердість (в 2 рази) і зносостійкість поверхонь сільськогосподарської техніки, виконаних з ПКМ (в 2 рази), схильних до дії рухомого органічного сипучого вантажу.

3. В якості об'єкта відновлення обраний конфузор причіпного спеціалізованого кормозбирального комбайна КПФ-2,4. Запропоновано інженерний розрахунок з'єднання «конфузор – ремонтний фланець» з використанням нової методики проектування. Передбачуваний економічний ефект становить 120 000 грн./од.