

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут, факультет Будівництва, архітектури та дизайну

Кафедра Композиційних матеріалів, з'єднань та покриттів

Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) бакалавр

Спеціальність 132 Матеріалознавство

освітня програма (спеціалізація) Композиційні матеріали

покриття

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНИЙ
Завідувач кафедри КМХТ
проф. Олександр МІТЯЄВ
(підпис) (прізвище, ініціали)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА

Контроль якості виробів і технологія ремонту композиційних конструкцій
(тема дипломної роботи)

1. Тема проекту (роботи) Контроль якості виробів і технологія ремонту композиційних конструкцій

керівник проекту (роботи) Акімов Іван Васильович к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, звання, посада)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «29» 03 2023 р., № 75

2. Строк подання студентом проекту(роботи) 02.06.2023р.

Розробив(ла) до проекту (роботи) Види дефектів та причини їх появи на
Студ. гр. БАД-210сп

Антон ХИЖНЯК

Керівник доцент
(вчене звання)

Іван Акімов

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (включення питань, які потрібно
розробити) Клейові з'єднання як найпоширеніший вид з'єднання

зв'язувальників, основні види клеев, визначення їх механічних властивостей

та використання клеев при ремонті елементів конструкцій навантажених несучого

Нормоконтролер доцент
(вчене звання)

Віра САВЧЕНКО

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

Види дефектів, які потребують усунення, та дозволених ділянок на

композиційних виробів, загальний вигляд композиційної конструкції на місці

2023

Національний університет «Запорізька політехніка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Будівництва, архітектури та дизайну

Кафедра Композиційних матеріалів, хімії та технологій

Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) бакалаврат

Спеціальність 132 Матеріалознавство

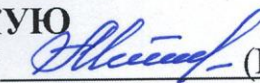
(код і назва)

освітня програма (спеціалізація) Композиційні та порошкові матеріали,
покриття

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КМХТ



(Мітяєв О.А.)

« 29 »

03

20 23 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ХИЖНЯКУ Антону Романовичу**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Контроль якості виробів і технологія ремонту
композиційних конструкцій

керівник проекту (роботи) Акімов Іван Васильович к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «29» 03 2023 р., № 75

2. Строк подання студентом проекту(роботи) 02.06.2023р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Види дефектів і причина їх появи на
елементах конструкції лопаті несучого гвинта, необхідність їх усунення

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) Клейові з'єднання як найпоширеніший вид з'єднань у

авіабудівництві, основні види клеїв, визначення їх механічних властивостей

та використання клеїв при ремонті елементів конструкції лопаті несучого
гвинта, контроль якості ремонту.

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

Види дефектів, які потребують усунення; схеми пошкоджених ділянок на

композиційних виробках; загальний вигляд композиційної конструкції на якій

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№№ п.п.	Назва етапів дипломної роботи	Строк вико- нання етапів роботи	Примітка
	Вступ, розділ 1	25.05.2023	
	Розділ 2	30.05.2023	
	Розділ 3	31.06.2023	
	Попередній захист	02.06.2023	

Студент Хижняк А. Р. (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) Акімов І. В. (підпис) (прізвище та ініціали)

Ключові слова: КОМПЮЗИЦІЙНА КОНСТРУКЦІЯ, ЛОПАТЬ НЕСУЧОГО ГВІНТА, ЗРАЗОК, ДЕФЕКТ, ФЕНОЛОКАУЧУКОВИЙ КЛЕЙ, КЛЕЙ З'СДАННЯ, НЕРІВНОМІРНИЙ ВІДРИВ, ХВОСТОВИЙ ВІДСІК, ЛОНЖЕР

РЕФЕРАТ

ПЗ складається з 55 сторінок, 32 рисунків, 10 таблиць, 19 джерел

Об'єкт дослідження – Клейові з'єднання в лопаті несучого гвинта, дефекти та ремонт.

Мета проекту – розробка технології заміни хвостового відсіку лопаті несучого гвинта, дослідження механічних характеристик зразків клейових з'єднань з використанням фенолокаучукових клеїв, та використання цих клеїв при ремонті лопаті несучого гвинта.

Метод дослідження – комплексний з використанням методик, що вказані в нормативній літературі.

У дипломній роботі розглядаються дефекти композиційних конструкцій, причини їх появи; клейові з'єднання у лопаті несучого гвинта, підбір матеріалу при їх ремонті; підготовка зразків та методика випробувань зразків клейового з'єднання на нерівномірний відрив; опис технології ремонту лопаті несучого гвинта.

КОМПОЗИЦІЙНА КОНСТРУКЦІЯ, ЛОПАТЬ НЕСУЧОГО ГВИНТА, ЗРАЗОК, ДЕФЕКТ, ФЕНОЛОКАУЧУКОВИЙ КЛЕЙ, КЛЕЙОВЕ З'ЄДАННЯ, НЕРІВНОМІРНИЙ ВІДРИВ, ХВОСТОВИЙ ВІДСІК, ЛОНЖЕР

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначень, одиниць і термінів.....	8
Вступ.....	9
1 Відомості о проблемах ремонту композиційних конструкцій.....	11
1.1 Аналіз відомостей про проблеми ремонту композиційних конструкцій.....	11
1.2 Загальні підходи до ремонту композиційних конструкцій.....	12
1.3 Види дефектів та ушкоджень.....	12
1.4 Проблеми ремонту композиційних конструкцій.....	18
1.4.1 Ремонтні матеріали.....	18
1.4.2 Геометричні параметри і структура ремонтної зони.....	19
2 Об'єкт дослідження, матеріал та методики дослідження.....	23
2.1 Об'єкт дослідження.....	23
2.2 Клейові з'єднання ЛНГ та причини появи в них дефектів.....	24
2.2.1 Клейові з'єднання ЛНГ.....	24
2.2.2 Дефекти клейових з'єднань ЛНГ.....	26
2.3 Обґрунтування вибору матеріалу для ремонту клейового з'єднання типу «лонжерон-хвостовий відсік» ЛНГ. Методика їх випробування.....	27
2.3.1 Вибір матеріалу.....	27
2.3.2 Методика випробування для аналізу міцності клейового з'єднання.....	29
2.3.2.1 Сутність методу.....	29
2.3.2.2 Обладнання для випробування зразків на нерівномірний відрив.....	29
2.3.2.3 Підготування зразків.....	30
2.3.2.4 Порядок проведення випробування.....	31
2.3.3 Оброблення даних випробування.....	32

3	Технологічний процес ремонту клейового з'єднання «лонжерон-хвостовий відсік» лопаті несучого гвинта.....	39
3.1	Порядок операцій технологічного процесу заміни відсіку лопаті несучого гвинта.....	39
3.2	Обладнання для ремонту.....	39
3.2.1	Пристрій та принцип роботи стапелю.....	40
3.3	Процес заміни хвостового відсіку.....	41
3.3.1	Демонтаж дефектного хвостового відсіку.....	41
3.3.2	Підготовка поверхонь під склеювання.....	41
3.3.3	Підготовка та приготування клею ВК-50.....	42
3.4	Підгонка хвостового відсіку до лонжерону та нанесення клею на склеюванні поверхні.....	44
3.5	Склеювання хвостового відсіку з лонжероном.....	46
3.6	Контроль якості ремонту.....	47
4	Техніка безпеки і охорона праці навколишнього середовища.....	50
	Висновки.....	52
	Перелік джерел посилань.....	53
	Додаток А.....	55

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

ЛНГ – лопать несучого гвинта;
КК – композиційна конструкція;
НД – нормативна документація;
МВК – метод вільних коливань;
НК – неруйнівний контроль;
ОК – об’єкт контролю
Рис. – рисунок;
 τ_b – міцність при зрушенні;
 σ_b – міцність при відриві;
 $S_{\text{відш}}$ – міцність при відшаровуванні;
 γ - відносне подовження;
 $\sigma_{\text{д.п}}$ – тривала міцність;
 τ_{max} – втомна міцність;
Р – руйнуюче зусилля;
b – ширина хвостового відсіку лопаті;

ВСТУП

Одними з дуже відповідальних агрегатів виробів авіаційної техніки являються лопаті несучого гвинта вертольотів, на які в процесі експлуатації здійснюється вплив високими статичними та складними знакозмінними навантаженнями. В даний час технологічний процес склеювання являється єдиним способом з'єднання елементів конструкції лопатей несучих та рульових гвинтів вертольотів [1].

Для з'єднання елементів конструкції лопатей, особливо для найбільш відповідальних з'єднань обшивок хвостових відсіків з лонжероном, застосовуються спеціально розробленні високоміцні вискоеластичні фенолокаучукові клеї конструкційного призначення [1].

Клеєві з'єднання в конструкції лопатей вертольотів мають високу тривалу міцність, вібростійкість, стійкістю до поширення тріщин, впливу кліматичних факторів. Застосування клеїв дозволяє підвищити втомну міцність та корозійну стійкість конструкції, знизити їх вагу і трудомісткість, покращити якість обтікаємої поверхні [2].

Останні роки характеризуються все більш широким використанням клейових з'єднань в авіабудівництві завдяки тому що вони у відмінності від зварних, заклепочних та болтових з'єднань, не послаблюють конструкцію за рахунок зварних швів або отворів і забезпечують більш рівномірне розподілення навантаження по всій площині склеювання. Багаторічний досвід експлуатації силових клеєних конструкцій, виготовлених з застосуванням клеїв, показав їх високу надійність, але й виявлено багато недоліків [3].

До недоліків клейових з'єднань відноситься обмежена теплостійкість, відносно низька міцність, особливо при нерівномірному відриві, схильність до «старіння» клейової плівки, необхідність нагріву виробів при склеюванні більшість клеями, та відсутність достатньо надійних об'єктивних неруйнівних методів контролю якості клейових з'єднань [3].

Більшість лопатей несучого гвинта вертольотів складаються з лонжерону закритого перерізу з алюмінієвого сплаву і хвостових відсіків з тонкою алюмінієвою обшивкою і стільниковим заповнювачем, що приклеюються передніми кромками. В експлуатації вертольотів сімейства Ми (Ми-8, Ми-24, Ми-17 і т.п.), що мають вказану конструкцію спостерігається значна кількість випадків появи тріщин, та відриву обшивки хвостових відсіків в районі передньої кромки в зоні склеювання з лонжероном. Зазначені відриви обшивки, тріщини пов'язані з особливостями навантаження у польоті та технології склеювання хвостових відсіків з лонжероном.

У польоті лонжерон лопаті завантажений великими розтягуючими силами та змінним вигином в площинах тяги і обертання, що викликає додаткову змінну напругу розтягування в зоні задньої стінки лонжерону. Розтягування через клейовий шов передається на хвостовий відсік, причому в обшивці відсіків поблизу задньої кромки лонжерону на бокових кромках має місце значна концентрація напружень зсуву. Ці напруги, що виникають в польоті внаслідок розтягування і вигину лонжерону, зростають через наявність у зазначеній зоні технологічних напруг розтягування. Ці технологічні розтягування в польоті додаються до напруги розтягування від відцентрової сили в лопаті і сприяють появі тріщин та відриву обшивки хвостових відсіків [4].

Важливо враховувати, що польотні характеристики вертольоту залежать від стану та працездатності лопаті несучого гвинта. Навіть невеликі дефекти або нерівномірності на лопатях можуть знизити ефективність роботи гвинта та погіршити маневреність, збільшення флатеру. У деяких випадках дефекти в лопатях гвинта можуть призвести до повної втрати керованості вертольоту, тому важливо регулярно проводити діагностику стану лопатей несучого гвинта та проводити ремонт та заміну дефектних частин лопаті [4].

1 ВІДОМОСТІ О ПРОБЛЕМАХ РЕМОНТУ КОМПОЗИЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1 Аналіз відомостей про проблеми ремонту композиційних конструкцій

В останні роки почали акцентувати увагу у світі на ремонті композиційних конструкцій. Причинами такого може бути:

- все більше використання більш нових та дорогих полімерних матеріалів, від виробів яких потрібен по можливості більш довший час експлуатації;
- збільшення об'єму випуску виробів з полімерних та композитних матеріалів;
- відсутність даних та результатів для відповідей на запитання, що з'являються у практиці ремонту нових для ряду виробництв матеріалів [5].

Технічна наука о ремонті композиційних конструкцій в останні роки просунулася далі вперед, але все ще можна враховувати, що вона знаходиться на стадії розвитку, проблеми ремонту, особливо в авіації майже не затронуті. Ремонт виробів та їх збирання по суті дуже близькі один до одного. Як при ремонті, так і при збиранні один або кілька елементів приєднуються один до одного, для того щоб забезпечити необхідне функціонування виробу чи конструкції. [5]

Технологічні переваги ремонтних ПМ:

- можливість переробки в широкому інтервалі температур, в тому числі що лежать нижче за кімнатну температуру;
- можливість формування контакту з поверхнями, що ремонтуються, у тому числі складної конфігурації без застосування надлишкового тиску;
- можливість досягнення консистенції, що задовольняє різним процесам переробки;
- можливість здійснення процесу ремонту за мінімально короткий час[5].

Ремонтпригодність є одною з вимог до сучасних КМ. Новизна розв'язуваних у сфері ремонту КМ обумовлена головним чином специфікою

структури та складу цих матеріалів. Ремонт незалежно від типу матеріалу виробу переслідує загальним чином наступні можливі цілі:

- усунення дефекту або пошкодження та відновлення вихідних характеристик виробу;
- компенсацію ослаблення, викликаного наявністю дефекту, який зберігається у виробі;
- гальмування подальшої руйнації виробу [5].

1.2 Загальні підходи до ремонту композиційних конструкцій

Технічні проблеми ремонту виробів з будь – яких матеріалів багатопланові:

- визначення методу ремонту;
- вибір ремонтних матеріалів;
- оптимізація конструкції ділянки, що ремонтується;
- прогнозування працездатності ремонту виробу;

Рівень вирішення цих проблем багато в чому визначається видом дефекту або пошкодження, умовами проведення ремонту, ступенем розвитку технології з'єднання КМ з тим, наскільки спільно працюють конструктор, матеріалознавець та технолог[6].

1.3 Види дефектів та ушкоджень

Дефекти і ушкодження у композиційних конструкціях можуть знаходитися як в стінці деталі, так і в зоні з'єднання або у самому з'єднувальному шві (Таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Дефекти та ушкодження композиційних конструкцій

За місцем розташування			
В стінці деталі		В зоні з'єднання деталей	В сполучному шві
Внутрішні	Зовнішні		

Продовження таблиці 1.

За характером				
Відхилення від заданих розмірів		Порушення цілісності	Сторонні включення	Відхилення у складі та структурі матеріалу
Вм'ятина	Змінення форми і розмірів			
За причиною появи				
Виробничі		Експлуатаційні		

За місцем розташування їх можна також поділити на внутрішні та поверхневі.

Вони можуть бути виробничими або експлуатаційними і виявляються:

- проведенням операції контролю якості після формування деталі та збирання виробу;
- в процесі профілактичного огляду та перевірки технічного стану вузлів
- після аварійної ситуації з виробом (зіткнення, удари і т.п.)

В загальному вигляді всі види дефектів в залежності від їх характеру можуть бути зведені в чотири групи:

- відхилення від заданих розмірів;
- порушення цілісності;
- сторонні включення;
- відхилення від заданого складу або структури.

Наприклад «відхилення від заданих розмірів» (розмірні дефекти) можуть стосуватися усього виробу або його частини. До розмірних дефектів може бути віднесена легко утворювана у всіх композиційних конструкціях – вм'ятина (Рис 1.1). Вм'ятина може утворюватися в зоні головки кріпильного елемента, що супроводжується витріщенням навколо цієї головки. Поява розмірного дефекту може супроводжуватись суттєвою зміною форми виробу (Рис. 1.2). [7]

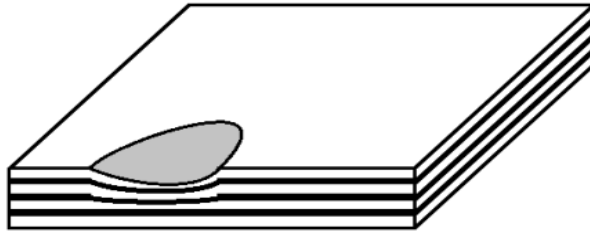
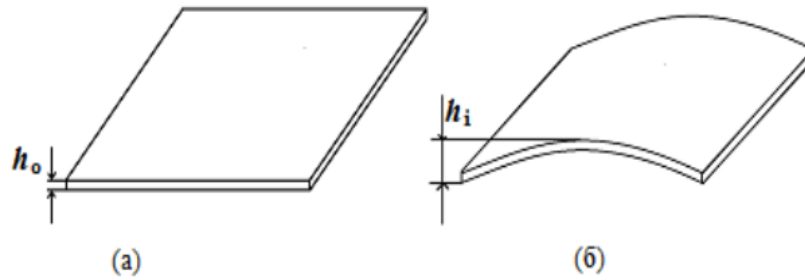


Рисунок 1.1 – Дефект в вигляді вм'ятини.

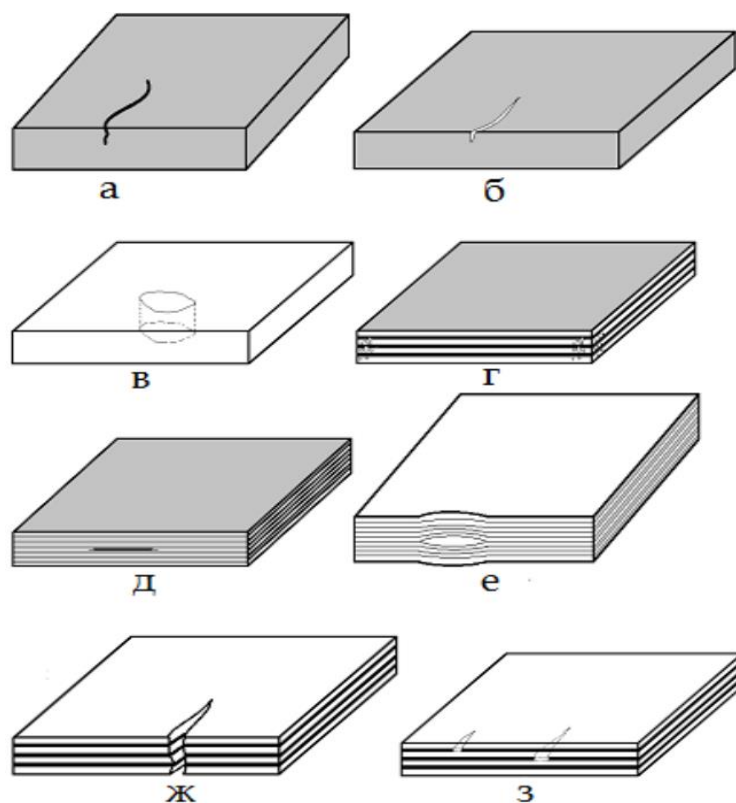


а – необхідна форма; б – форма, що вийшла.

Рис. 1.2 – Розмірний дефект, що обумовлюється збільшенням висоти від h_0 до h_i деталі в результаті короблення.

До порушення цілісності в стінці композиційних конструкцій можна віднести такі внутрішні дефекти як розшарування, тріщини, пори, непоклеї, раковини в прошарках матриці чи клейового шару, а також зовнішні дефекти типу сколів, викрашування, відшарування. [7]

До серйозних порушень цілісності композиційних конструкцій можна віднести розриви матеріалу або його структурних елементів (волокон або матриці) та пробоїни. Менш серйозними дефектами можна вважати подряпини, але, враховуючи велику чутливість КМ до концентраторів напруг, їх усунення також потрібно приділяти належну увагу. Деякі із зазначених дефектів наведено в рис. 1.3.[7]



а – поверхнева тріщина; б – подряпина; в – пробоїна; г – пори; д – розшарування без розкриття тріщини; е – розшарування з розкриттям тріщини; ж – розрив матеріалу; з – розрив наповнювача.

Рисунок 1.3 – Несуцільності у стінках деталей.

В реальних умовах експлуатації композиційних конструкцій можливі поєднання дефектів: пробоїна та розшаровування, розрив та розшаровування, вм'ятина та розрив і т.п. [7]

До сторонніх включень відносяться тіла, що знаходяться в деталі іншого в порівнянні з ПКТ складу. Їх поява може бути пов'язана з порушенням технологічної дисципліни та впливом експлуатаційних факторів. Як частково стороннє включення, що порушує однорідність структури ПКМ, можна розглядати складки наповнювача та порушення його орієнтації по порівнянні із заданою схемою (Рис. 1.4).[7]

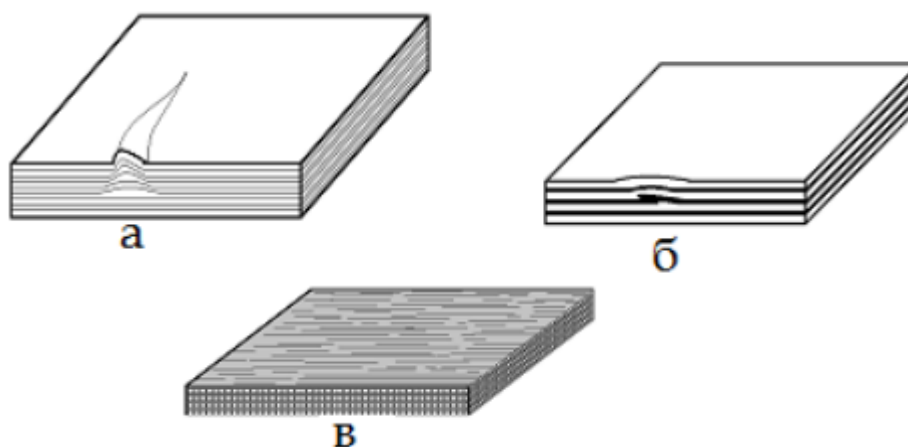
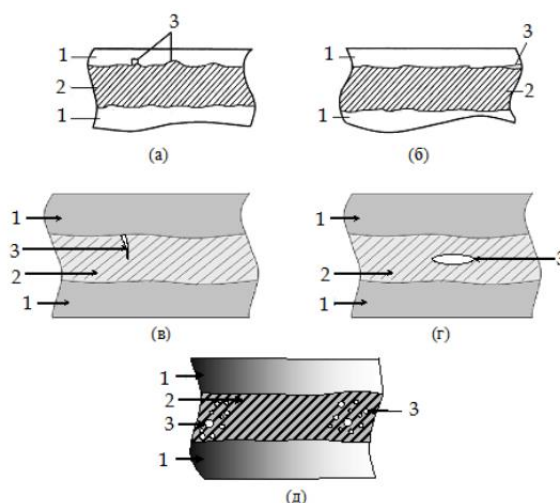


Рисунок 1.4 – Дефекти у вигляді зовнішньої (а) та внутрішньої (б) складок наповнювача і порушення орієнтації наповнювача (в).

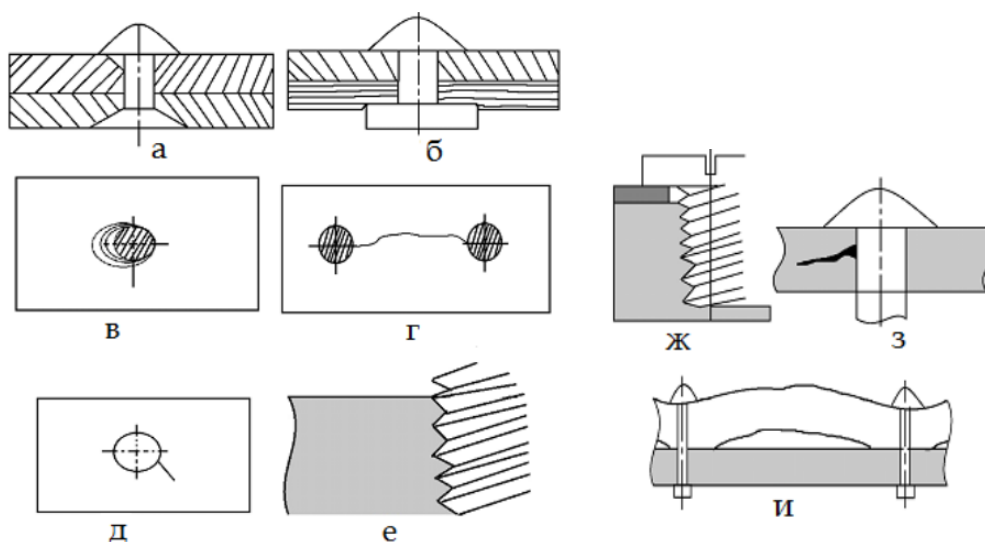
У виробів з ТКМ виділено два типи ушкоджень: ушкодження матриці та пошкодження волокон. До перших відносяться розшарування на кордоні матриця – волокно, тріщини в матриці, розшарування. До пошкодження волокон віднесені як порушення укладання волокон, так і пробоїни в матеріалі.[7]

Працездатність композиційних конструкцій може бути знижена через наявність дефектів у з'єднаннях деталей (Рис. 1.5 – 1.7).



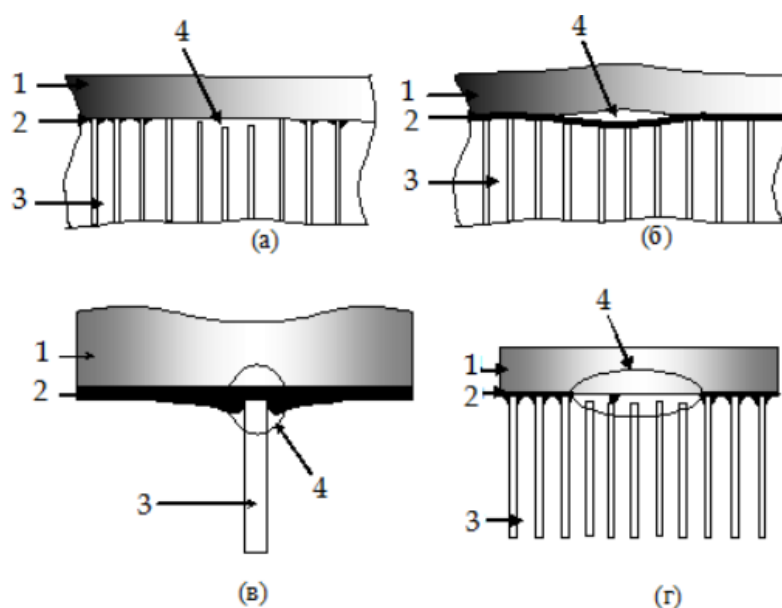
а – неповне змочування; б – розшарування; в – тріщина в клейовому шві; г – пустоти; д – пори. 1 – з'єднувальна деталь; 2 – клейовий шар; 3 – дефекти.

Рисунок 1.5 – Дефекти клейового з'єднання.



а – скол ПКМ під головкою; б – зминання ПКМ головкою; в – зминання стрижнем ПКМ в зоні отвору; г – тріщина між отворами; д – тріщина в зоні отвору; е – сколи витків різьби; ж – зріз витка різьби в різьбовому отворі; з – розшарування в зоні отвору, і – випучування.

Рисунок 1.6 – Дефекти в з'єднання, виконаних механічним кріпленням



а – між клейовим шаром і заповнювачем; б – розшарування; в – неправильної форми галтель клею; г – розриви в клейовому шарі.

1 – обшивка; 2 – клейовий шар; 3 – стільниковий заповнювач; 4 – дефект.

Рисунок 1.7 – Дефекти в клейових стільникових конструкціях.

В гібридних тришарових конструкціях, що складаються із обшивки і стільникового заповнювача, дефектом може бути порушення цілісності заповнювача на основі алюмінієвої фольги в результаті її корозії. [7]

1.4 Проблеми ремонту композиційних конструкцій

Розробка способу ремонту означає визначення геометричних параметрів ремонтної ділянки, вибір ремонтних матеріалів і методу з'єднання ремонтного матеріалу і деталі, що ремонтується, з обліком виду дефекту, матеріалу деталі або матеріалів, що входять до з'єднання, та заданих умов проведення ремонтних робіт [2].

Можна сформулювати віддільні критерії, на які орієнтуються, обираючи конкретний спосіб ремонту:

- можливість відновлення вихідних механічних та інших експлуатаційних властивостей матеріалу;
- технологічна простота та доступність способу ремонту в заданих умовах;
- можливість виконання ремонту персоналом, який не володіє спеціальною професійною підготовкою.

На вибір способу ремонту вирішальний вплив надає тип дефекту, його розміри і діючі в зоні ремонту навантаження, тобто наскільки відповідальною є ділянка, що ремонтується. [7]

Неможливо запропонувати універсальний спосіб ремонту. Велику універсальність демонструють ремонтні матеріали [7].

1.4.1 Ремонтні матеріали

Ремонтними ПМ, що вибирають в залежності від виду дефекту, служать:

- заливальні та просочувальні компаунди (усунення мікро- та макропор, ризик);

- мастики (усунення усадкових раковин, тріщин, порожнин, здуття);
- клеї (усунення пробоїн, сколів, приєднання накладок на зношені частини);
- порошки, що напильються на основі епоксидних смол або поліаміду;
- препреги [8].

Перші ремонтні матеріали для полімерних та композиційних конструкцій були запозичені із області ремонту металічних виробів, а подальший їх розвиток йшов паралельно з удосконаленням композиційних виробів. Основними ремонтними матеріалами при виконанні ремонту за допомогою склеювання і приформування служать:

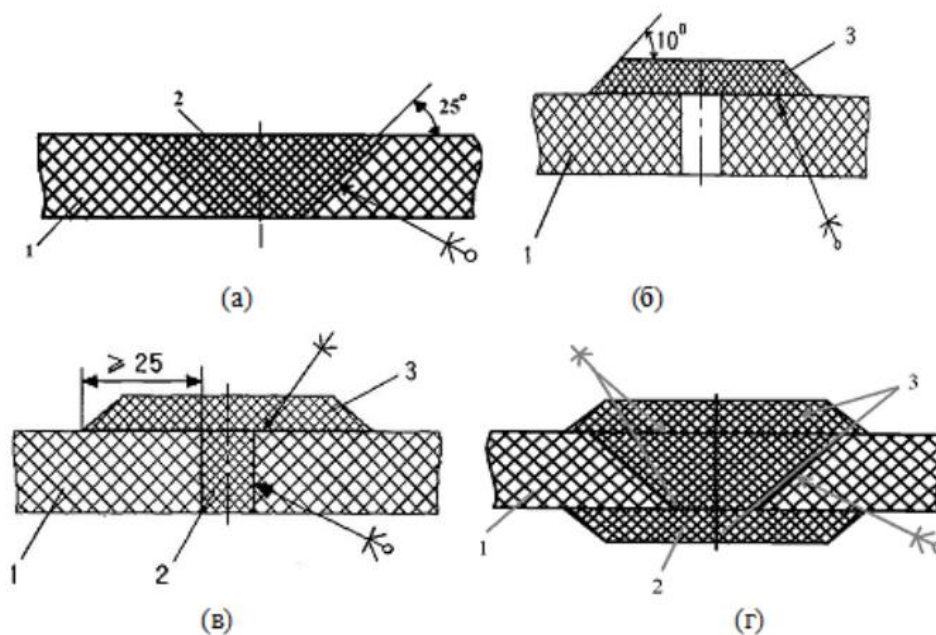
- клеї, переважно на основі епоксидних і рідше поліефірних смол, на основі акрилатів, в тому числі анаеробні, на основі ізоціанатів та інших сполук, у тому числі клеї, що спінуються;
- волокнисті армуючі наповнювачі у вигляді скляних, органічних або вуглецевих тканин, стрічок і матів;
- епоксидні, поліефірні, акрилатні та інші сполучні для просочення волокнистих наповнювачів;
- готові препреги (замість окремо взятих та поєднаних під час ремонту наповнювачів та зв'язуючих);
- відформовані із ПКМ вставки[8].

Правильний вибір ремонтного матеріалу ще не вирішує всіх проблем відновлення працездатності виробу. Важливу роль відіграє вибір геометричних параметрів та структури ремонтної зони [8].

1.4.2 Геометричні параметри і структура ремонтної зони

Найбільшу складність та значущість представляє усунення наскрізного дефекту в стінці композиційних конструкцій. Конструкторське рішення, що обирається для усунення цього дефекту: це впровадження вставки в отвір та/або приєднання компенсуючої дефект накладки. Враховуючи специфіку роботи під

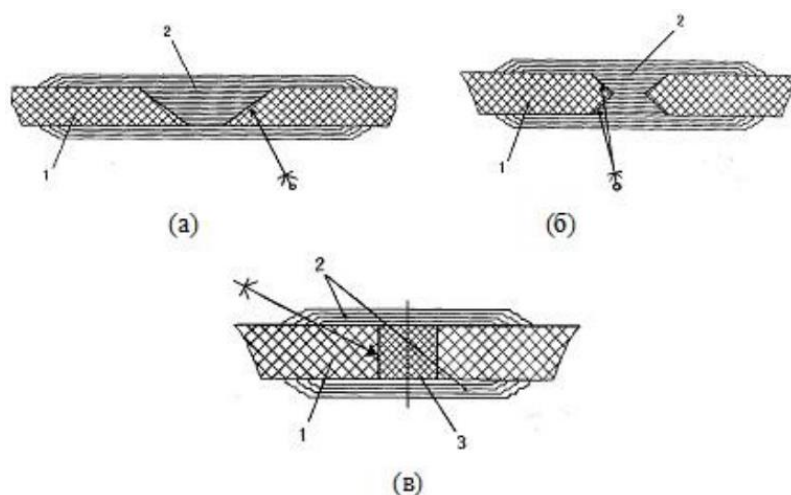
навантаженням клейових та формованих сполук, накладки, вставки та отвір доцільно скошувати. Пробірни у тришаровій стільниковій конструкції усувають, ремонтуючи обшивку відповідно до схем (Рис 1.8, 1.9) та відновлюючи заповнювач. Якщо діаметр пробірни менший за 30 мм, то порожнину між накладками можна заповнити ПМ, що спінюється, наприклад клеєм [7].



а – введення конічної вставки; б – одностороння приєднувальна накладки; в – введення вставки і одностороннє приєднання накладки; г – введення конічної вставки і двостороннє приєднання накладок.

1 – деталь; 2 – вставка; 3 – накладка; К- клейове з'єднання

Рисунок 1.8 – Схема пошкоджених ділянок, підданих ремонту із застосуванням склеювання.

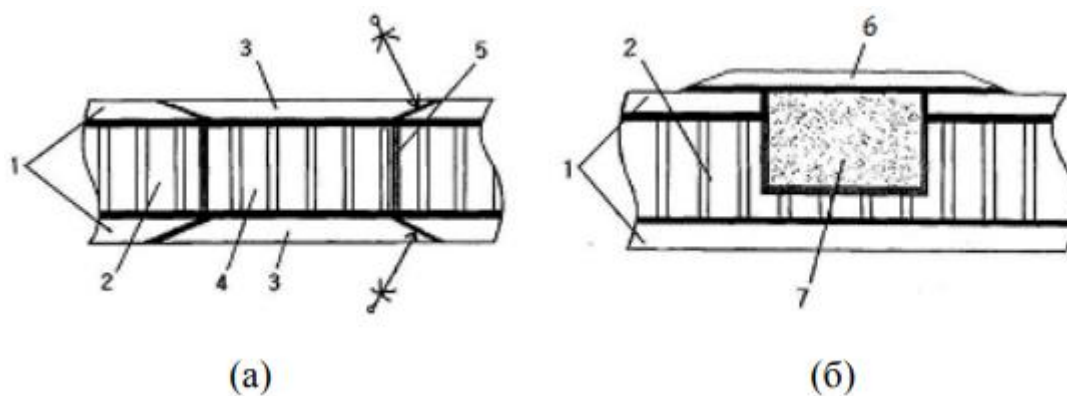


а – V-подібна обробка кромки пробоїни; б – Х-подібна обробка кромки.

1 – деталь; 2 – накладки; 3 – вставка; К – клейове з'єднання.

Рисунок 1.9 – Схеми пошкодження ділянок, підданих ремонту методом приформування накладок з препрегу (а, б) і комбінування склеювання ті приформування (в).

При більшій пробоїні встановлюють вкладиш зі стільникового заповнювача (Рис 1.10, а), наносячи навколо нього клей, що спінюється.

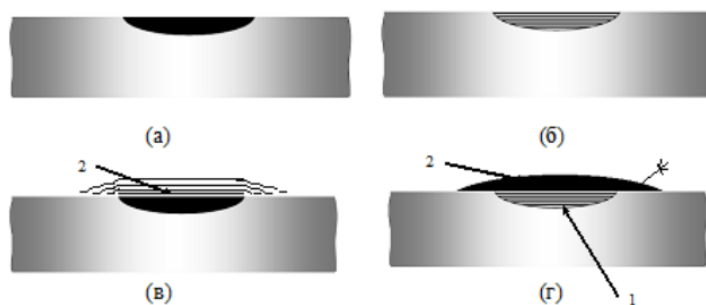


а – панель з пробоїною; б – панель з одностороннім дефектом.

1 – обшивка; 2 – стільниковий заповнювач; 3 – вставка з ПКМ; 4 – стільникова вставка; 5 – спінений клейовий шар; 6 – накладка з ПКМ; 7 – пінопласт.

Рисунок 1.10 – Схеми ділянок тришарових стільникових панелей підданих ремонту.

Дефекти типу подряпин і ненаскрізних тріщин попередньо оброблюються наждачним папером з метою створення плавного переходу від пошкодженої ділянки до основного матеріалу. Потім вирівнювання обробленої зони здійснюють за допомогою компаундів, формованої вставки (по шару клею) або препрегів (Рис. 1.11, а, б). При більшій глибині подряпини може знадобитися приєднання додаткових накладок (Рис. 1.11, в, г) [7].



1 – вставка; 2 – накладка; К – клеєвий слой.

Рисунок 1.11 – Схеми ділянок деталей з подряпиною, підданих ремонту з застосуванням компаунду (а), приформування вставки (б), нанесення компаунду і приформування накладки (в) і приформування вставки і приклеювання накладки (г).

Геометричні параметри ремонтної ділянки деталі, а разом з ними і метод з'єднання визначають технологію ремонту.

2 ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ, МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Об'єкт дослідження

Лопать несучого гвинта (Рис 2.1) – призначена для створення підйомної сили і тяги, необхідної для здійснення польоту вертольоту. Лопать несучого гвинта є дуже важливим елементом конструкції вертольоту, що сприймає великі знакозмінні навантаження від аеродинамічних та інерційних сил. Основним елементом конструкції лопаті є – лонжерон, фрезерований із пресованої заготовки алюмінієвого сплаву АВТ-1, котрий утворює носову частину профілю лопаті.

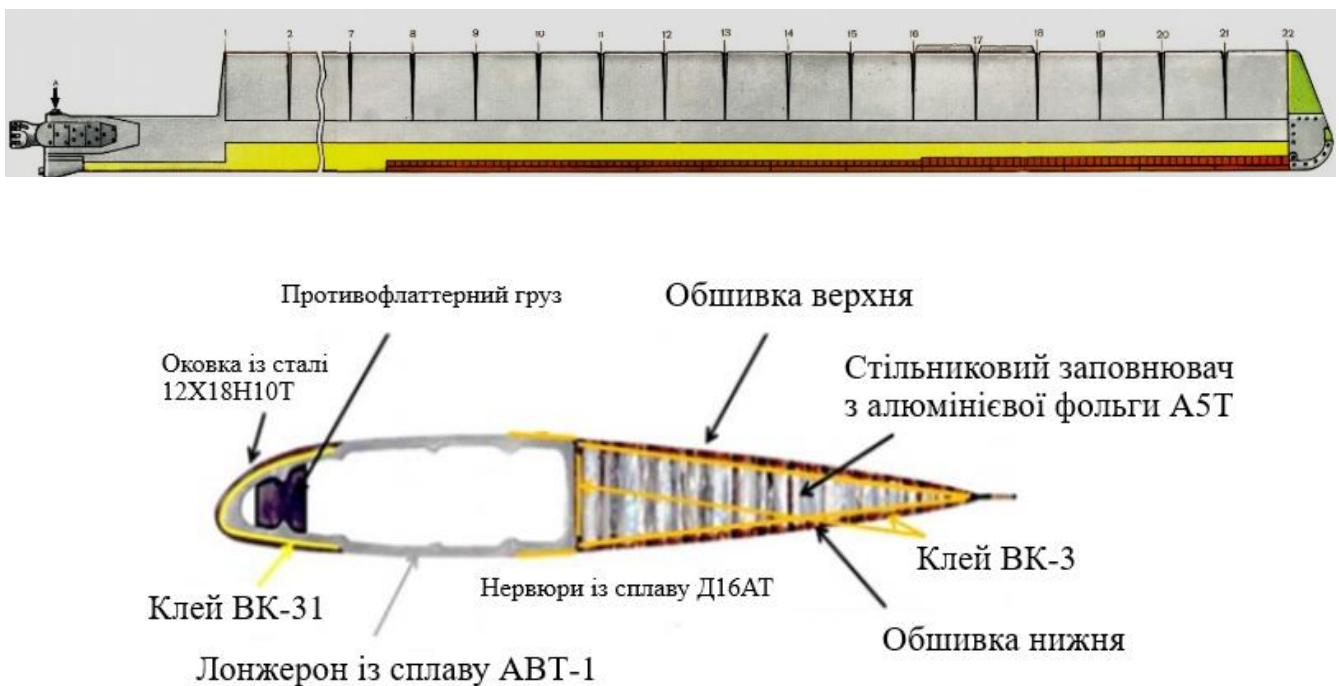


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд лопаті несучого гвинта в плані та перерізі

Хвостова частина профілю лопаті утворена вісімнадцятьма віддільними хвостовими відсіками (Рис. 2.2) з стільниковим заповнювачем, що кріпляться до лонжерону фенолокаучуковим клеєм ВК-3.

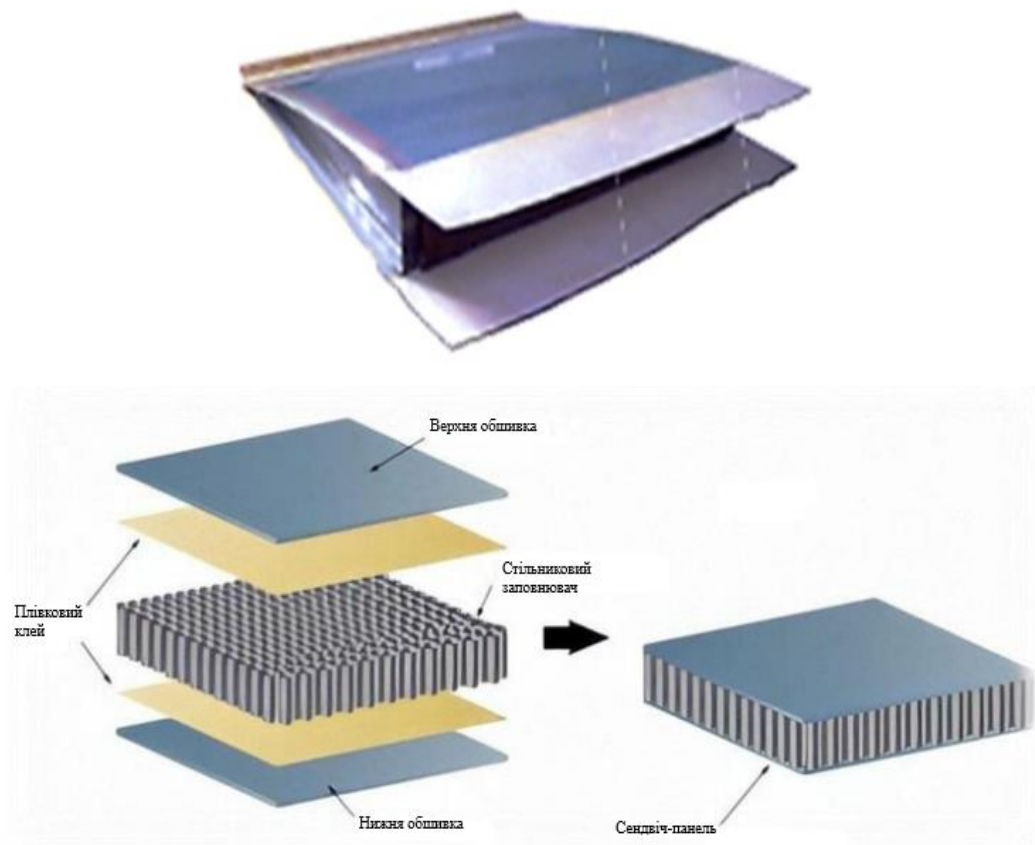


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд хвостового відсіку ЛНГ

2.2 Клейові з'єднання ЛНГ та причини появи в них дефектів.

2.2.1 Клейові з'єднання ЛНГ.

Клейові з'єднання в конструкції лопатей вертольотів мають високу тривалу міцність, вібростійкість, стійкістю до поширення тріщин, впливу кліматичних факторів. Застосування клеїв дозволяє підвищити втомну міцність та корозійну стійкість конструкції, знизити їх вагу і трудомісткість, покращити якість обтікаємої поверхні [9].

Багаторічний досвід експлуатації силових клеєних конструкцій, виготовлених з застосуванням клеїв, показав їх високу надійність, але й виявлено багато недоліків.

До недоліків клейових з'єднань відноситься:

- обмежена теплостійкість;

- відносно низька міцність, особливо при нерівномірному відриві;
- схильність до «старіння» клейової плівки;
- необхідність нагріву виробів при склеюванні більшістю клеями;
- відсутність достатньо надійних об'єктивних неруйнівних методів

контролю якості клейових з'єднань [9].

Для з'єднання елементів конструкції лопатей, особливо для найбільш відповідальних з'єднань обшивок хвостових відсіків з лонжероном, застосовуються спеціально розроблені високоміцні вискоеластичні фенолокаучукові клеї конструкційного призначення, наприклад такий клей як ВК-3 ТУ 6-17-663-75, що використовуються в серійному виробництві при виготовленні ЛНГ.

Фенолокаучукові клеї призначені для склеювання металів та неметалів в авіаційній промисловості, таких як виготовлення ЛНГ. Поєднання в одному клеї фенолоформальдегідної смоли та каучуку дозволило використовувати позитивні якості як першого, так і другого компоненту: клей зберігає міцність і достатню теплостійкість фенолоформальдегідної смоли і набуває еластичних характеристик, властивим каучуку, завдяки чому може працювати при впливі відшаровувальних та ударних навантажень. Відносною особливістю цього класу клеїв є висока еластичність в поєднанні з високою міцністю [10].

Процес затвердіння фенолокаучукових клеїв проходить по механізму поліконденсації з виділенням летучих продуктів. Прикладами таких клеїв є ВК-3, ВК-32-200, ВК-25, що забезпечують клейове з'єднання міцністю при зрушенні до 20 МПа і еластичність затверділої плівки клейового шару 150-200% [10].

Властивості фенолокаучукових клеїв, що використовуються в даний час, представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Властивості деяких фенолокаучукових клеїв.

Показник	Марка клею		
	ВК-3	ВК-32-200	ВК-25
Інтервал робочих температур, °С	-60...+80	-60...+200	-60...+80
Міцність при зрушенні τ_b , МПа	15	13,5	23
Міцність при відриві σ_b , МПа	-	-	22

Продовження таблиці 2.1

Міцність при відшаровуванні $S_{\text{відш}}$, кН/м	-	-	5-6
Відносне подовження γ , %	-	-	140-200
Тривала міцність $\sigma_{\text{д.п}}$, МПа (на базі часу, ч)		-	18,5 (500)
Втомна міцність $\tau_{\text{мах}}$, МПа (на базі циклів $N=10^7$ циклів)		-	9

2.2.2 Дефекти клейових з'єднання ЛНГ.

Відповідно до таблиці 1.1, причиною появи дефектів є виробничий та експлуатаційний фактор.

Виробничими факторами появи дефектів клейового з'єднання у ЛНГ є [11]:

- великий зазор між склеюваними шарами або недостатнє прорізання сотами клейової плівки. Це обумовлено, як правило, поганою підгонкою склеюваних елементів або недостатнім тиском при склеюванні. Більший зазор повинен бути повністю заповненим клеєм, що призводить до збільшення товщини клею і зменшенню його модулю пружності;
- замаслювання склеюваних поверхонь, попадання в клейовий шар поліетиленових і інших плівок;
- недостатній ступінь затвердіння клею в результаті порушення температурного режиму склеювання.

Експлуатаційними дефектами у вертольотів сімейства Ми (Ми-8, Ми-24, Мі-17 і т.п.), що мають конструкцію ЛНГ типу «клейове з'єднання лонжерон-хвостовий відсік» є значна кількість випадків появи тріщин, та відриву обшивки хвостових відсіків в районі передньої кромки в зоні склеювання з лонжероном. Зазначені тріщини та відрив обшивки пов'язані з особливостями навантаження у польоті та технології склеювання хвостових відсіків з лонжероном.

У польоті лонжерон лопаті завантажений великими розтягуючими силами та змінним вигином в площинах тяги і обертання, що викликає додаткову змінну напругу розтягування в зоні задньої стінки лонжерону. Розтягування через клейовий шов передається на хвостовий відсік, причому в обшивці відсіків поблизу

задньої кромки лонжерону на бокових кромках має місце значна концентрація напружень зсуву. Ці напруги, що виникають в польоті внаслідок розтягування і вигину лонжерону, зростають через наявність у зазначеній зоні технологічних напруг розтягування. Ці технологічні розтягування в польоті додаються до напруги розтягування від відцентрової сили в лопаті і стають причиною появи тріщин та відриву обшивки хвостових відсіків (Рис. 2.3)



Рисунок 2.3 – Дефекти клейового з'єднання на ЛНГ

2.3 Обґрунтування вибору матеріалу для ремонту клейового з'єднання «лонжерон-хвостовий відсік» ЛНГ. Методика їх випробування.

2.3.1 Вибір матеріалу

Як визначалося раніше, вибір матеріалу та прогнозування працездатності при ремонті виробу є одними з найважливіших вимог [11]. При описі конструкції ЛНГ було вказано, що приклеювання хвостових відсіків до лонжерона проводиться серійним фенолокаучуковим клеєм ВК-3. Використання при ремонті має ряд недоліків. Це обумовлюється тим, що при ремонті лонжерон піддається повторному нагріву при режимі полімеризації клею ВК-3 при температурі $165 \pm 5^\circ\text{C}$ та часу полімеризації 60 ± 20 хв. Повторний нагрів лонжерону може призвести до збільшення втомних тріщин, що можуть збільшуватись при тепловому розширенні лонжерону. Також при виготовленні лонжерону лопаті він піддається поверхневому наклепу, що при повторних нагріваннях може викликати явище

часткового відпуску, що призводить до зменшення наклепаного шару та зменшення ресурсу ЛНГ.

Так, замість «серійного» клею ВК-3 був запропонований «перспективний» клей ВК-50, який відноситься також до класу фенолокаучукових клеїв. Властивості клею ВК-3 в порівнянні з ВК-50 представлені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Механічні характеристики клейового з'єднання клеїв ВК-3 та ВК-50

Клей	Інтервал робочих температур, °C	$\tau_{\text{в}}$	$\sigma_{\text{в}}$	$S_{\text{відш,}}$ кН/м	$\gamma, \%$	$\sigma_{\text{д.п,}}$ МПа ($\tau, \text{ч}$)	$\tau_{\text{max,}}$ при $N=10^7$ циклів
		МПа					
ВК-3	-60...+80	15	15	-	-	-	-
ВК-50	-60...+150	25±5	25±5	10	135-150	17(500)	10

Клей ВК-50 має переваги перед клеєм ВК-3. Клей ВК-50 затвердіває при меншій температурі полімеризації - 130°C (замість 165±5°C для клею ВК-3). Клей ВК-50 завдяки наявності в складі пероксидів затвердіває по полімеризаційному механізму, у зв'язку з чим майже не виділяє летучих речовин в процесі затвердіння (затвердіння клею ВК-3 проходить по механізму поліконденсації, що супроводжується виділенням до 13% летучих речовин). У зв'язку з цим технологічний процес склеювання з використанням клею ВК-50 можна проводити при зниженому тиску, яке складає 0,1-0,3 МПа, в той час коли при склеюванні клеєм ВК-3 потрібний тиск 0,5 МПа. Крім того, клей ВК-50 має текучість в процесі склеювання, що дозволяє забезпечити повну змочуваність поверхонь і відсутність непроклеїв при зниженому тиску. Клей ВК-3 не має текучості, що в поєднанні з виділенням летучих речовин в процесі затвердіння викликає необхідність застосування більшого тиску при склеюванні. Однак, всі ці переваги не мають ваги без проведення руйнівних випробувань, що можуть бути використані для оцінки ефективності ремонт.

2.3.2 Методика випробування для аналізу міцності клейового з'єднання

2.3.2.1 Сутність методу

Сутність методу випробувань на нерівномірний відрив для клейових з'єднань полягає у визначенні руйнівного навантаження, що припадає на одиницю ширини зразка, з якого відбувається відрив при нерівномірному розподілі напруги по площі склеювання. Тобто вимір сили, що необхідна для відшаровування гнучкої підкладки від жорсткої основи при заданому куті відриву [12].

2.3.2.2 Обладнання для випробування зразків на нерівномірний відрив

Випробування проводяться на спеціальній установці для нерівномірного відриву (Рис. 2.4) що повинна відповідати наступним вимогам:

- максимальна величина створюваного установкою навантаження – 5 кН;
- установка повинна забезпечувати рівномірну швидкість переміщення рухомого захвату;
- пристрій для захоплення обшивки лопаті повинен забезпечувати рівномірний зажим обшивки по всій довжині хвостового відсіку.
- установка повинна забезпечувати запис результатів випробувань у координатах «зусилля – переміщення рухомого захоплення» або «зусилля – час».

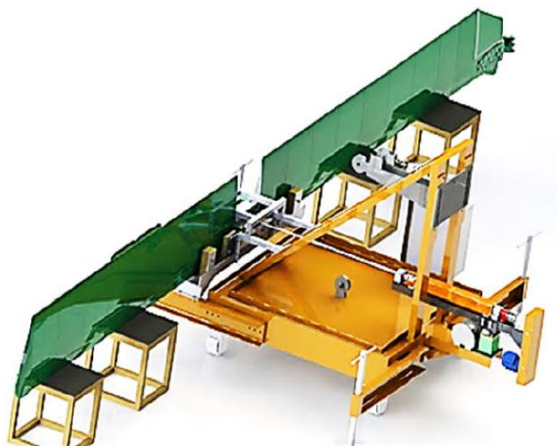


Рисунок 2.4 – Установка для випробувань зразків на нерівномірний відрив

2.3.2.3 Підготування зразків

Для виготовлення зразку для випробування на нерівномірний відрив підготували 4 хвостових відсіки з матеріалом обшивки з алюмінію Д16АТ товщиною 0,3мм, 2 хвостові відсіки склеювались з використанням клею ВК-3, інші 2 хвостові відсіки з використанням клею ВК-50 згідно з режимами по таблиці 2.3 за серійною технологією з технологічним лонжероном (Рис. 2.5).

Таблиця 2.3 – Режими склеювання фенолокаучукових клеїв ВК-3 і ВК-50

Марка клею	Температура склеювання, °С	Час склеювання, хв	Тиск, МПа
ВК-3	165±5	60±20	0,5
ВК-50	130±5	60±20	0,1-0,3

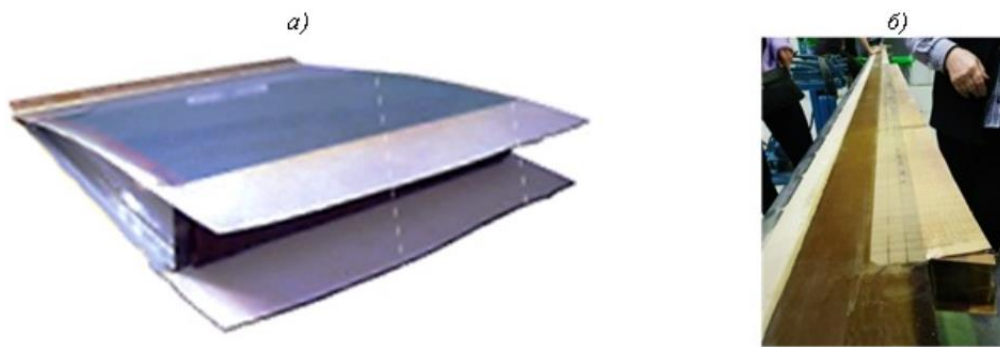


Рисунок 2.5 – Вид виготовленого хвостового відсіку (а), а також приклеєних до технологічного лонжерону (б)

Далі приклеєні до технологічного лонжерону хвостові відсіки підрізали по лінії, віддаленій від задньої стінки лонжерону на відстані 80...90мм (Рис 2.6). Підрізають шов по нервюрам і стільниковому заповнювачу, залишаючи недоторканою полосу шириною 8...10 мм біля задньої стінки лонжерону. Підрізані обшивки рівномірно відгинають під кутом 90° (Рис. 2.6). Лінія вигину повинна бути прямою, а відігнута частина не повинна мати гофрів. Для подальшого надійного закріплення обшивки в затискачах установки (Рис. 2.4), її необхідно очистити від залишків стільникового заповнювача.

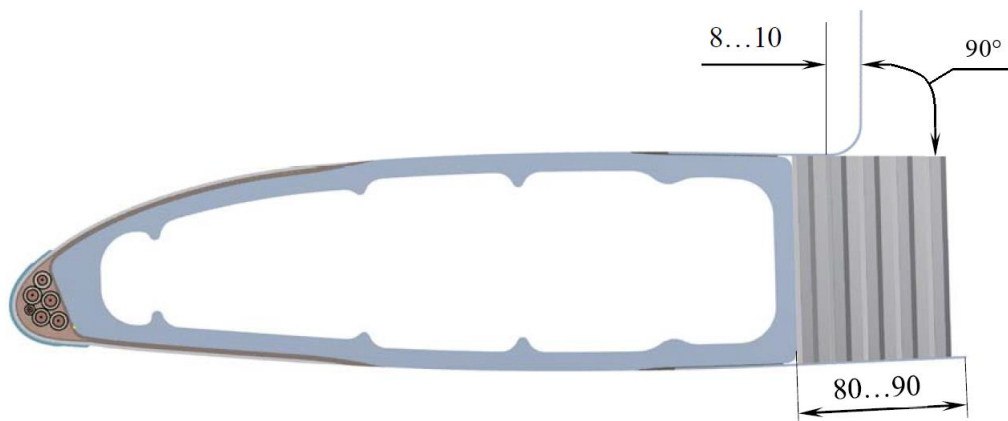


Рисунок 2.6 – Загальний вигляд зразку для випробування

2.3.2.4 Порядок проведення випробування

Лонжерон з підготовленими до випробування зразками хвостових відсіків з клеєм ВК-3 та ВК-50 встановлювали в установку для нерівномірного відриву (Рис 2.4), послідовно затискаючи відігнутий зразок обшивки в затискний пристрій (Рис. 2.7).

Відрив зразків обшивки хвостового відсіку проводили спочатку від стільникового заповнювача, а потім від лонжерону. Швидкість відриву складала 35 мм/хв. Швидкість переміщення рухливого затискачу установки - 35 ± 5 мм/хв.

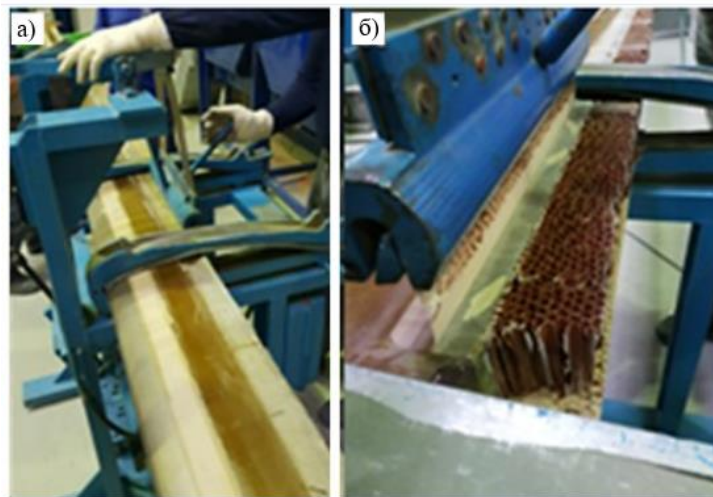


Рисунок 2.7 – Зона кріплення технологічного лонжерону в пристосуванні (а) і процес випробування на нерівномірний відрив обшивок хвостових відсіків (б)

Випробування проводилися до повного відриву обшивки від лонжерону (Рис 2.8). В процесі випробування записується діаграма «зусилля-час» або «зусилля-переміщення рухливого затискача».



Рисунок 2.8 – Вид зразку після випробування на нерівномірний відрив клейового з'єднання

2.3.3 Оброблення даних випробування

Результати випробувань розраховували за графіком, що вийшов у процесі випробування (рис. 2.9) та за формулою міцності клейового з'єднання.

Міцність клейового з'єднання обшивки з лонжероном при нерівномірному відриві ($S_{\text{відш}}$) визначають за формулою [12]:

$$S_{\text{відш}} = \frac{P}{b}, \quad (1)$$

де P – руйнуюче зусилля, Н;

b – ширина хвостового відсіку лопаті, см.

При цьому:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}, \quad (2)$$

де P – середньоарифметичне результатів вимірі не менше 50% найменших значень максимумів, но не менше 5 (перше максимальне значення зусилля не враховується), Н;

P_i – руйнуюче зусилля, Н;

n – число найменших значень максимумів.

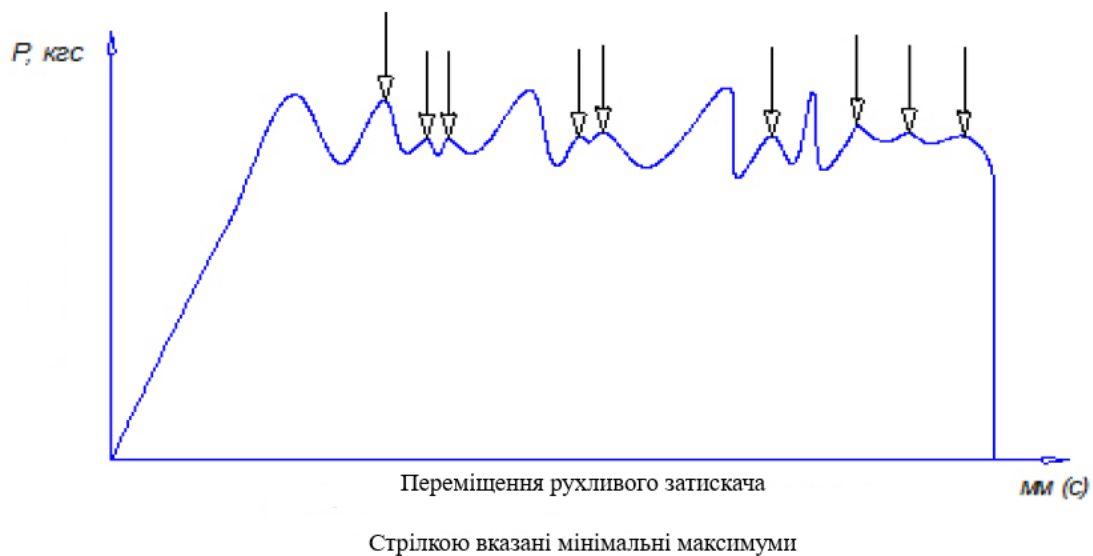


Рисунок 2.9 – Приклад графіку випробування на нерівномірний відрив

Після випробування зразків на досліджування величини зусилля, необхідної для відриву обшивки від лонжерону установкою були побудовані діаграми зусилля на відрив. Результати випробування наведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати випробувань

Номер зразку	Зусилля початку відриву, Н (кгс)	Зусилля кінця відриву, Н (кгс)	Середнє значення зусилля відриву, Н (кгс)	Довжина хвостового відсіку l , мм	$S_{\text{відш}}, \text{ Н/см}^2 \text{ (кгс/см}^2 \text{)}$
ВК-3					
1	4281(436,6)	4281(422,9)	4147(362,9)	400	88 (9)
2	3825(390,3)	4118(419,4)	3716(379,2)	400	92 (9,4)
3	3432(350,5)	4099(418,6)	3726(380,3)	400	93 (9,5)
4	3327(339,6)	4097(418,4)	3628(370,9)	400	90 (9,2)

Продовження таблиці 2.4

Номер зразку	Зусилля початку відриву, Н (кгс)	Зусилля кінця відриву, Н (кгс)	Середнє значення зусилля відриву, Н (кгс)	Довжина хвостового відсіку l, мм	$S_{\text{відш}}, \text{Н/см}^2$ (кгс/см ²)
ВК-50					
1	3177(324,9)	4462(455,3)	4069(415,3)	400	101 (10,3)
2	4030(411,5)	4520(461)	4765(383,9)	400	94 (9,6)
3	3020(308,9)	4108(419,5)	3883(396,3)	400	97 (9,9)
4	4079(416,2)	4609(470,7)	4079(416,4)	400	102(10,4)

Результат випробувань вважається задовільним при $S_{\text{відш}} \geq 4,6$ кгс/см згідно НД. За графіками бачимо, що значення зусилля відриву як для зразків з використанням клею ВК-50 (рис. 2.10, 2.11, 2.12, 2.13) так і з ВК-3 (рис. 2.14, 2.15, 2.16, 2.17) вважаються задовільними і відповідають значенню $S_{\text{відш}} \geq 4,6$ кгс/см, але значення зусилля відриву все ж таки більший у зразків з використанням клею ВК-50, що підтверджує переваги його властивостей над клеєм ВК-3.

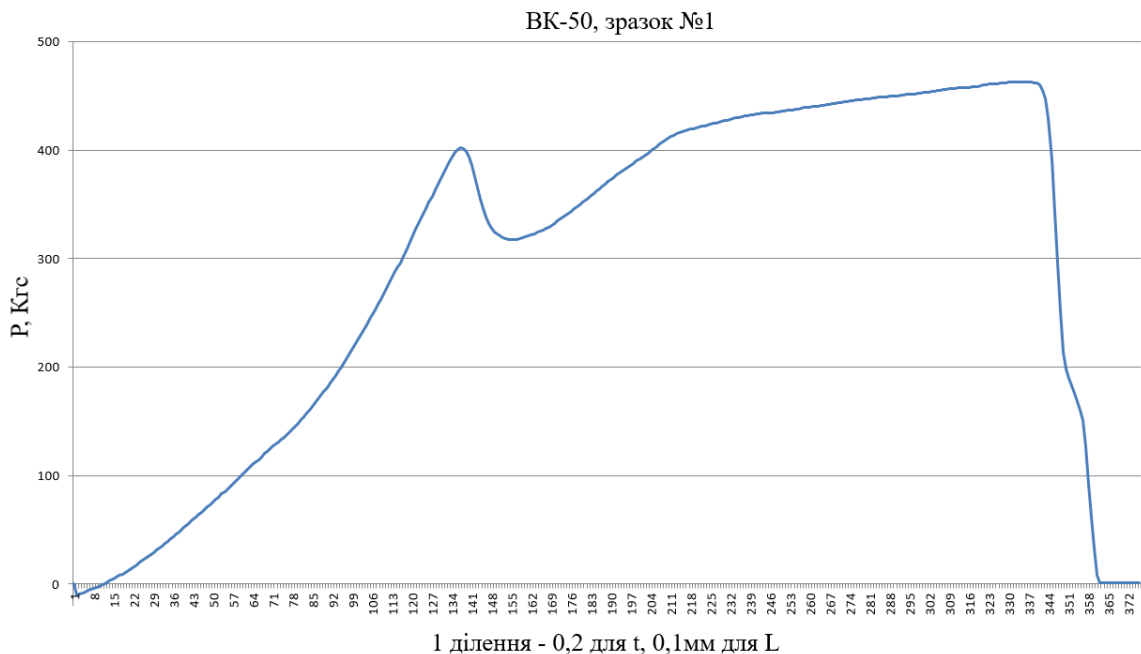


Рисунок 2.10 – графік зусилля на нерівномірний відрив обшивки хвостового відсіку від лонжерону з використанням клею ВК-50, зразок №1

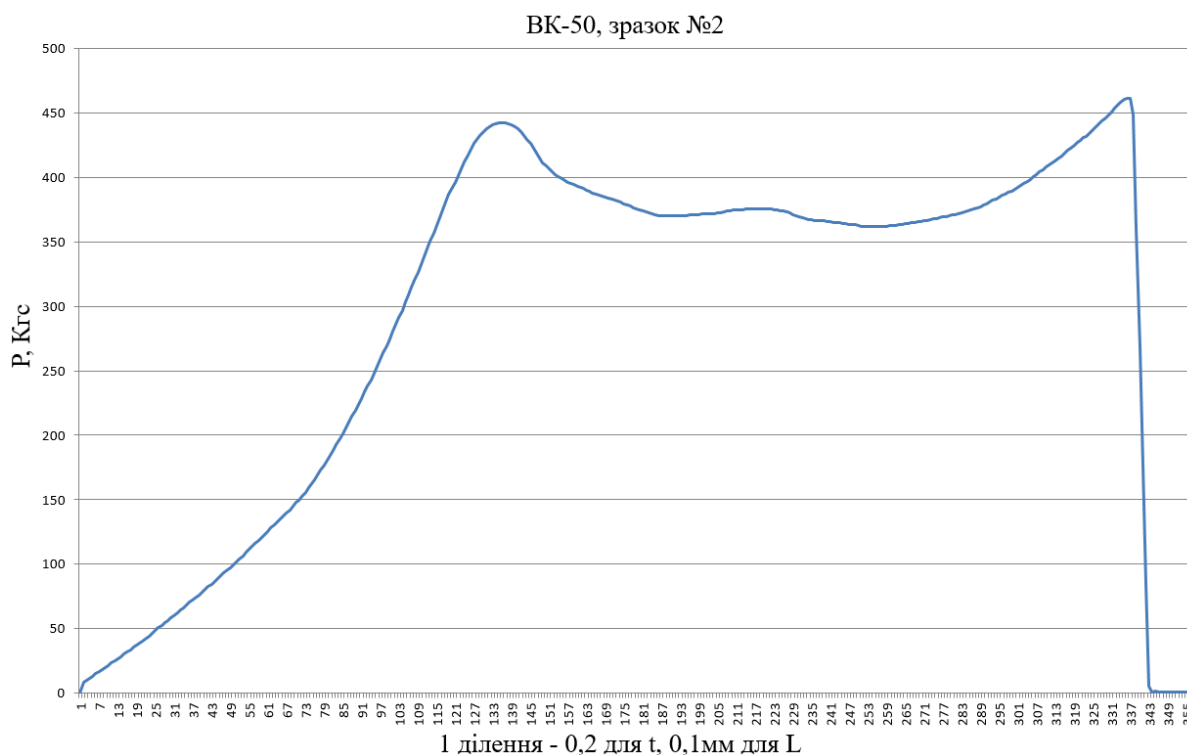


Рисунок 2.11 – графік зусилля на нерівномірний відрив обшивки хвостового відсіку від лонжерону з використанням клею ВК-50, зразок №2

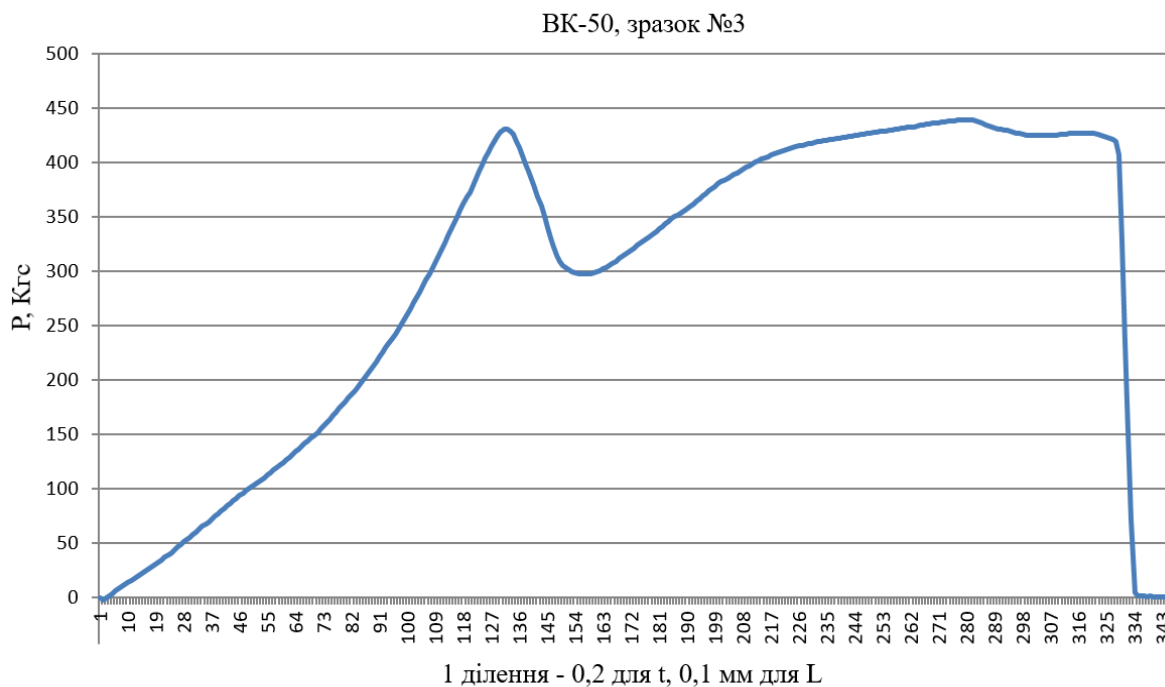


Рисунок 2.12 – графік зусилля на нерівномірний відрив обшивки хвостового відсіку від лонжерону з використанням клею ВК-50, зразок №3

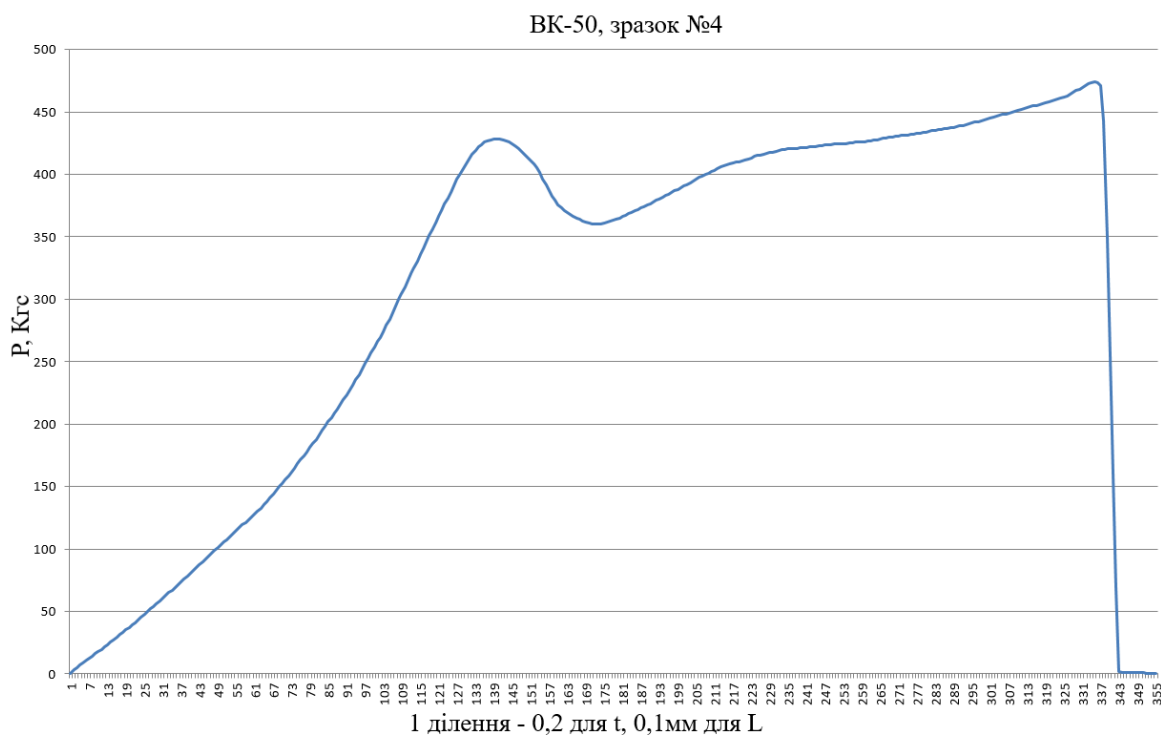


Рисунок 2.13 – графік зусилля на нерівномірний відрив обшивки хвостового відсіку від лонжерону з використанням клею ВК-50, зразок №4

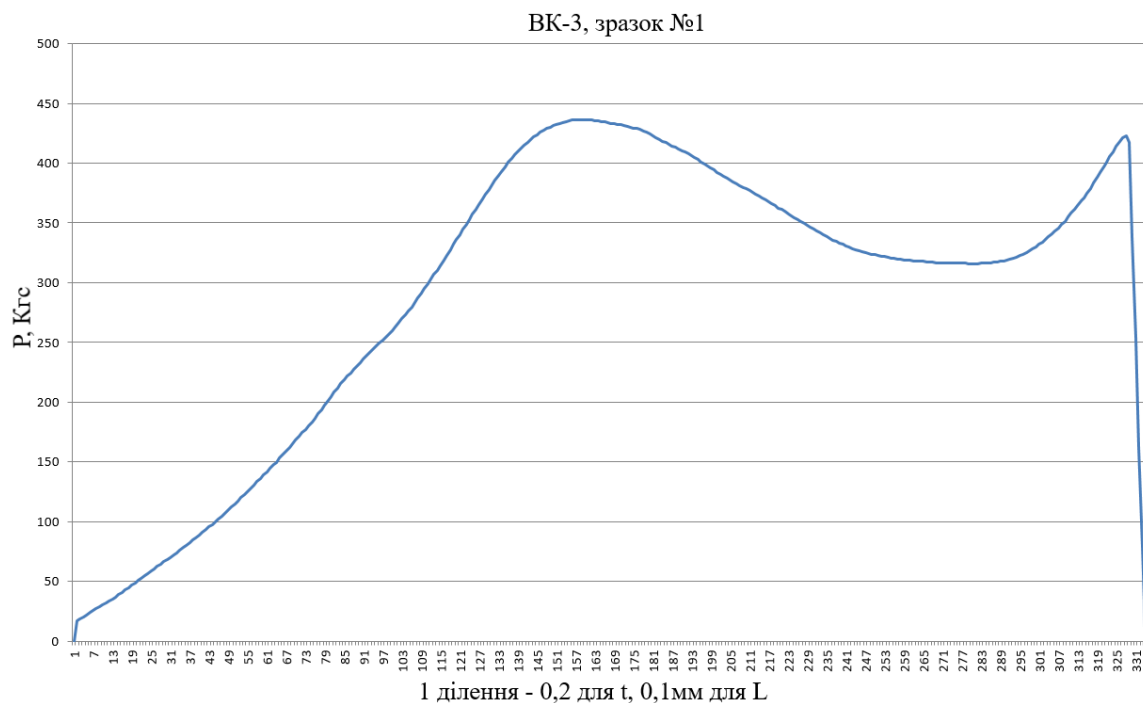


Рисунок 2.14 – графік зусилля на нерівномірний відрив обшивки хвостового відсіку від лонжерону з використанням клею ВК-3, зразок №1

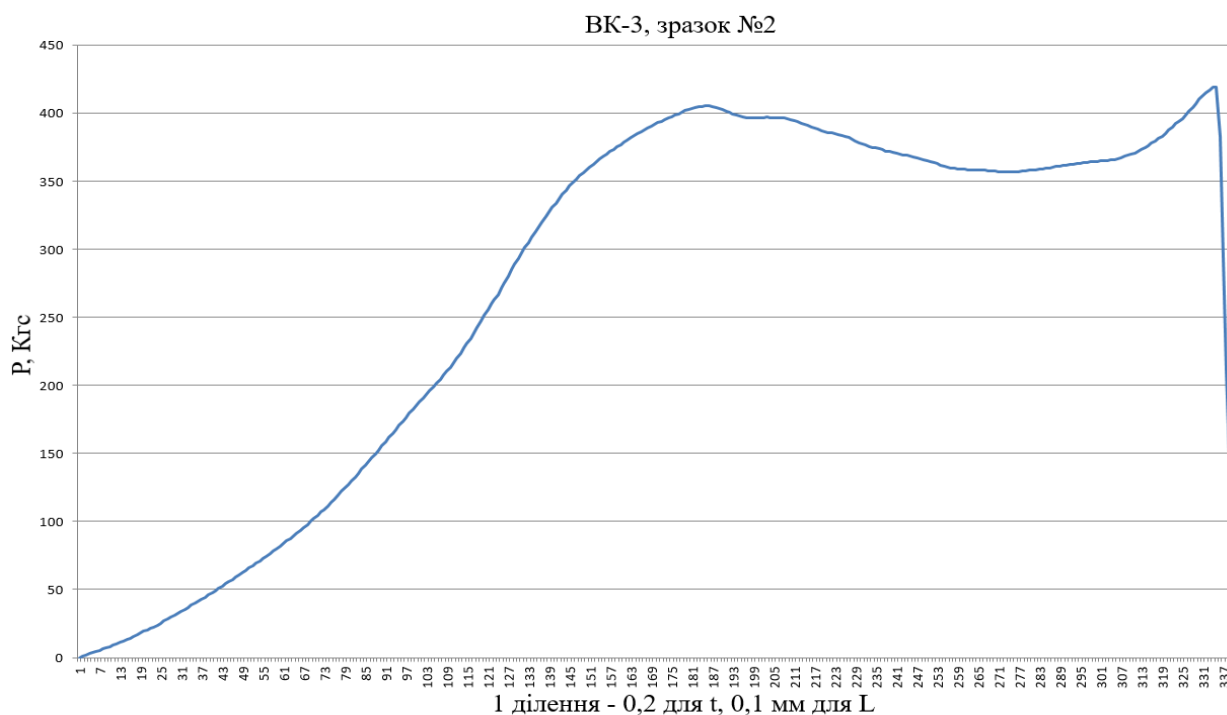


Рисунок 2.15 – графік зусилля на нерівномірний відрив обшивки хвостового відсіку від лонжерону з використанням клею ВК-3, зразок №2

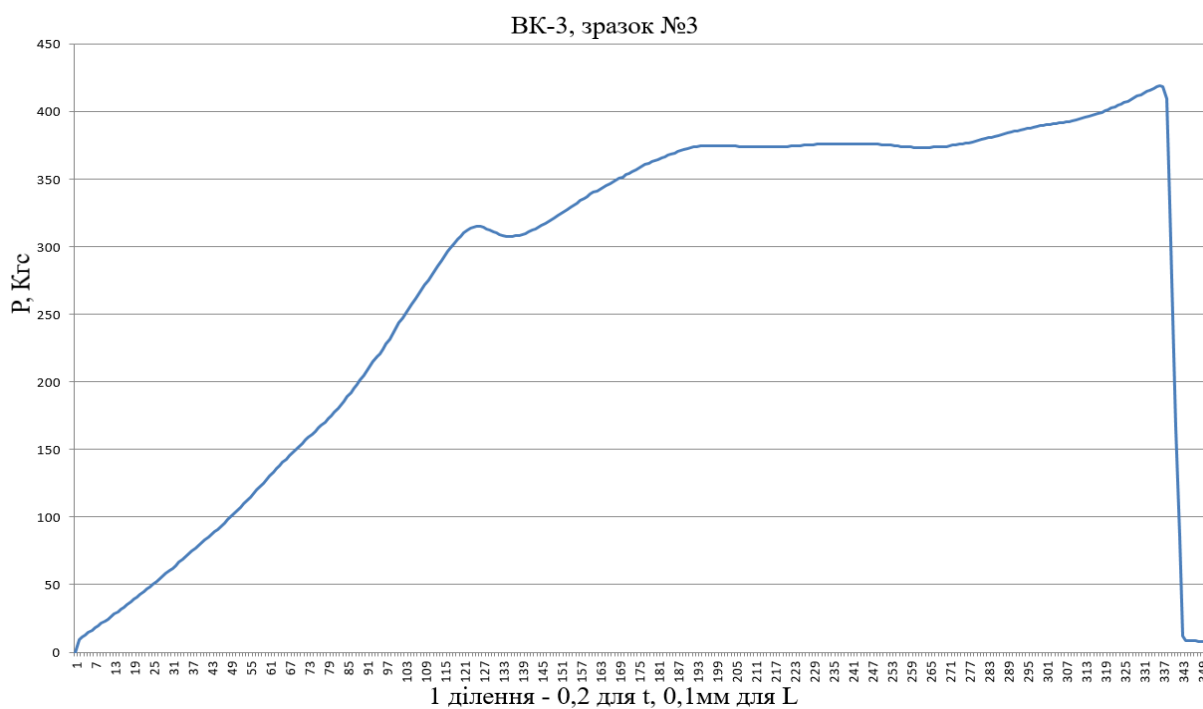


Рисунок 2.16 – графік зусилля на нерівномірний відрив обшивки хвостового відсіку від лонжерону з використанням клею ВК-3, зразок №3

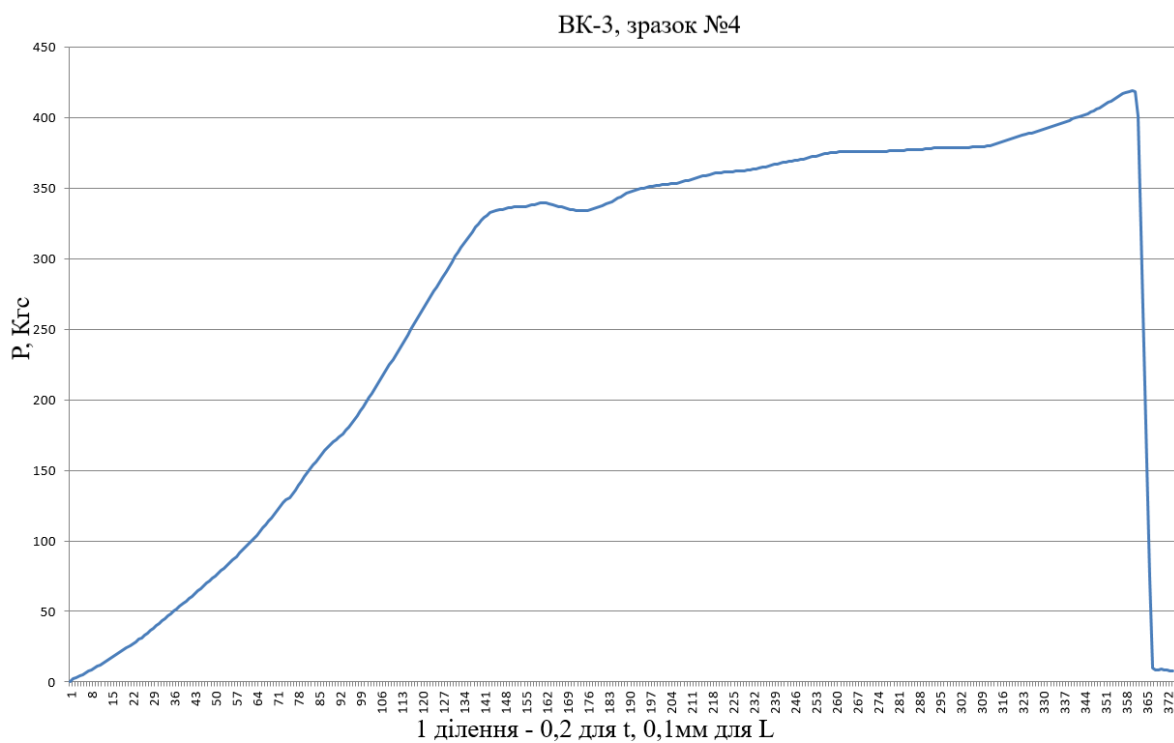


Рисунок 2.17 – графік зусилля на нерівномірний відрив обшивки хвостового відсіку від лонжерону з використанням клею ВК-3, зразок №5

3 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС РЕМОНТУ КЛЕЙОВОГО З'ЄДНАННЯ «ЛОНЖЕРОН-ХВОСТОВИЙ ВІДСІК» ЛОПАТІ НЕСУЧОГО ГВИНТА

3.1 Порядок операцій технологічного процесу заміни відсіку лопаті несучого гвинта

Основний порядок операцій технологічного процесу при заміні відсіку ЛНГ складається з послідовних етапів:

- Демонтаж дефектного відсіку ЛНГ;
- Підготовка поверхонь під склеювання;
- Підготовка та приготування клею ВК-50;
- Підгонка хвостового відсіку до лонжерона та нанесення клею на склеюванні поверхні;
- Склеювання хвостового відсіку з лонжероном на стапелі для склейки – збирання ЛНГ;
- Контроль якості ремонту.

3.2 Обладнання для ремонту

Для виконання ремонту та виконання операції склеювання лонжерону з хвостовим відсіком використовують стапель для склейки ЛНГ (Додаток А).

Технічні характеристики стапелю для склейки ЛНГ представлені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики стапелю для склейки ЛНГ

Максимальна довжина склеювання	9 м
Робоча довжина склеювання	7 м
Ширина відсіків:	
- максимальна	400 мм
- мінімальна	300 мм

Продовження таблиці 3.1

Діапазон зусилля стиснення склеюваних елементів, Н, (кгс): - на полки відсіків - на нервюри і стільниковий заповнювач	від 2450 (250) до 14000 (1430) від 200 (20) до 4000 (400)
Набір температури	Ступінчатий по 10°C
Максимальна температура нагріву	160±5°C
Тиск пневмосистеми	Від 0,1 до 5 МПа
Напруга живлення	380±10 В
Частота мережі живлення	50±1 Гц
Потужність, що споживається	30 кВт
Габаритні розміри стапелю	10440x2160x1300

3.2.1 Пристрій та принцип роботи стапелю

Опори 1 і 2 (див. додаток А) призначені для кріплення пневмообладнання 11. Опори 1, 2 і балки 3,4 в зборі утворюють станину, на котрій кріпляться усі робочі елементи стапелю.

Зажим лонжерону 5 служить для позиціонування лонжерону в вертикальній та горизонтальній площинах.

Фіксатор 6 зі стопорами 7 и підставкою 8 служить для позиціонування лонжерону в поздовжньому напрямку .

Упор 9 призначений для позиціонування і фіксації хвостових відсіків.

Боковий зажим 10 служить для забезпечення необхідного питомого тиску та температури в зоні склеювання відсіку та лонжерону. Стиснення та розтискання відбувається за допомогою пневмоциліндру 12, який управляється пневморозподільником 13.

Верхні прижими 14, 15 за стяжками пружинними 16, 17 служать для забезпечення необхідного питомого тиску в зоні склеювання нервюри і сотоблоку з лонжероном, що встановлені на стойках 23.

Домкрати 18 служать для запобігання прогину лонжерону у вертикальному напрямку, сприймаючи зусилля від верхніх прижимів.

Пневмосистема 11 забезпечує регулювання тиску на величину відповідну необхідному зусиллю склеювання та управління пневмоциліндрами.

Температурний режим забезпечується шафою управління нагрівом.

Шафа управління нагрівом 21 призначена для управління нагрівальними елементами, дотримання та реєстрації температурного режиму, контролю тиску у пневмосистемі.

3.3 Процес заміни хвостового відсіку

3.3.1 Демонтаж дефектного хвостового відсіку

Демонтаж хвостового відсіку проводиться послідовно по переходам:

- Прорізати обшивку хвостового відсіку вздовж лонжерону зверху і знизу на відстані 40 – 50 мм від задньої стінки лонжерону;
- Надірвати обшивку по полкам нервюр, торцям стільникового заповнювача і лонжерону зверху і знизу;
- Легким ударом по відсіку в зоні стрінгеру від'єднати нервюри і стільниковий заповнювач від лонжерону по площині його приклейки до лонжерону;
- Зачистити залишки клею на місці демонтованого хвостового відсіку по задній і боковим поверхням лонжерону за допомогою шпателью з використанням ацетону як розчинника.

3.3.2 Підготовка поверхонь під склеювання

Підготування поверхні під склеювання – цех хімічний або механічний процес, який змінює поверхню роблячи її більш активною при контакті з клеєм. Погана підготовка поверхні під склеювання призводить до зниження адгезії, а в інших випадках до руйнування клейового з'єднання [13].

Ціль процесу підготовки поверхні – видалення забруднень і отримання рівномірної по всій площині шорсткості.

При добрій підготовці поверхонь забезпечується:

- Необхідна міцність клейових з'єднань безпосередньо після склеювання;
- Висока довговічність клейових з'єднань, тобто збереження вихідних властивостей або їх незначне зниження протягом усього терміну експлуатації;

Підготовка поверхонь під склеювання лонжерону з хвостовим відсіком складається з послідовних переходів:

- Знежирити склеюванні поверхні (на обшивці хвостового відсіку і лонжерону) бензином «Нефрас», сушити з витримкою 10-15 хвилин при температурі 15...30°C на повітрі, потім знежирити два рази склеюванні поверхні ацетоном з витримкою 5-10 хвилин при температурі 15...30°C на повітрі після кожного разу.
- При необхідності нанести адгезійний ґрунт ЕП-0234 на задню і бокові стінки лонжерону, який представляє собою 3%-й розчин епоксидної смоли з інгібітором корозії і затверджувачем у суміші ацетону і спирту. Ґрунт нанести кистю з витратою 70 г/м². Сушку проводити при температурі при кімнатній температурі протягом 24 годин. Ґрунт не знижує міцність клейових з'єднань і дозволяє підвищити часовий проміжок між склеюванням до 30 днів.

3.3.3 Підготовка та приготування клею ВК-50

Фенолокаучуковий клей ВК-50 поставляється у рідкому вигляді та у вигляді клейової плівки (Рис 3.1).



Рисунок 3.1 – фенолокаучукова клейова плівка ВК-50

Рідкий клей ВК-50 поставляється в компонентах згідно таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – компоненти рідкого клею ВК-50

Компонент 1	Лак ФЛ-5111 ТУ 2311-083-05758799-2002
Компонент 2	Продукт №4 ТУ 105761-83

Приготування рідкого клею ВК-50 проводити в спеціальній скляній або металевій чистій і сухій посуді у пропорціях згідно таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Пропорції клею ВК-50

Марка клею	Найменування компоненту	Кількість, масові частини
ВК-50	Продукт №4	73,8
	Лак ФЛ-5111	26,2

Продукт №4 ретельно перемішується, відважується розрахована кількість лаку ФЛ-5111 і вводиться у продукт №4. Клей ретельно перемішують протягом 10-20 хвилин та дають відстоятися протягом 5-10 хв. для видалення пузирів повітря.

Розкрий плівкового клею ВК-50 (Рис. 3.1) проводять на спеціальному столі накритому поліетиленовою плівкою простим ножем. Для розкрию використовують спеціальні трафарети з заданими розмірами згідно розміру ширини хвостового відсіку, що замінюється, та площини задньої та бокових стінок лонжерону:

- Відсік №1-2 – 300x135 мм;
- Відсік №3-4 – 400x135 мм;
- Відсік №5-18 – 400x125 мм;

Розкрий плівкового клею ВК-50 проводити разом з поліетиленовою плівкою. Далі плівку знежирюють бензином «Нефрас» з тієї сторони де немає поліетиленової плівки і сушать протягом 25 хвилин при температурі 15...35°C.

3.4 Підгонка хвостового відсіку до лонжерона та нанесення клею на склеюванні поверхні

Підгонка нового хвостового відсіку полягає в установці його на лонжерон, розмітці і обрізці припусків на обшивці по передній кромці і нервюрам (Рис. 3.2)

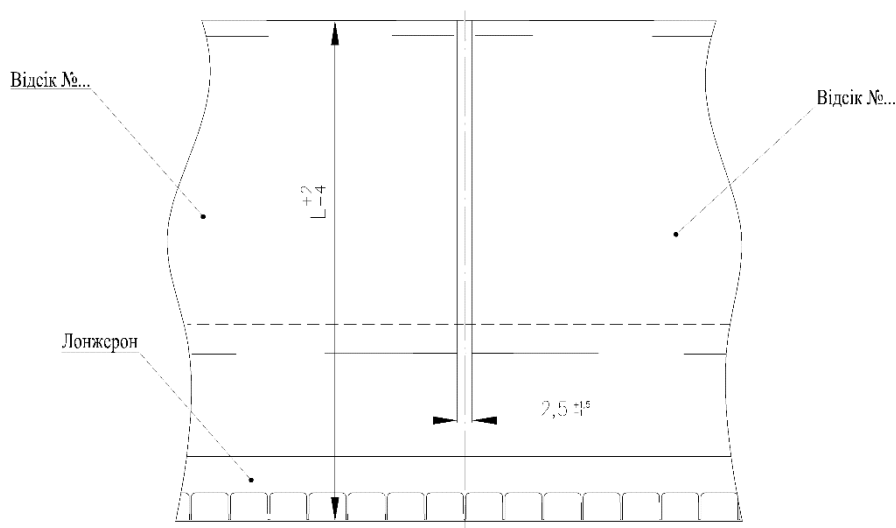


Рисунок 3.2 – Підгонка хвостового відсіку

Зазор між відсіками повинен бути $2,5 \pm 1$ мм. Допуск на розмір хорди $L + 2$ мм, -4 мм, при цьому сходінка між двома сусідніми відсіками не більше 2 мм.

Хвостовий відсік перевіряють на відсутність механічних пошкоджень та зачищають гострі кромки напилком та шліфувальною шкуркою з малою зернистістю.

Далі встановлюють ЛНГ площиною «А» вверху, наносять на площину «А» лонжерона кісточкою підшар рідкого клею ВК-50, з витратою клею $150-300$ г/м² і дають відкриту витримку $5...10$ хвилин при температурі $15...35^{\circ}\text{C}$. Відкриту витримку використовують для видалення із клею розчинника у вигляді бутилацетату, що знаходиться у складі рідких фенолокаучукових клеїв. Процес повторюють для нанесення рідкого клею на площину «Б» хвостового відсіку з витратою клею $200-250$ г/м² (Рис. 3.3).

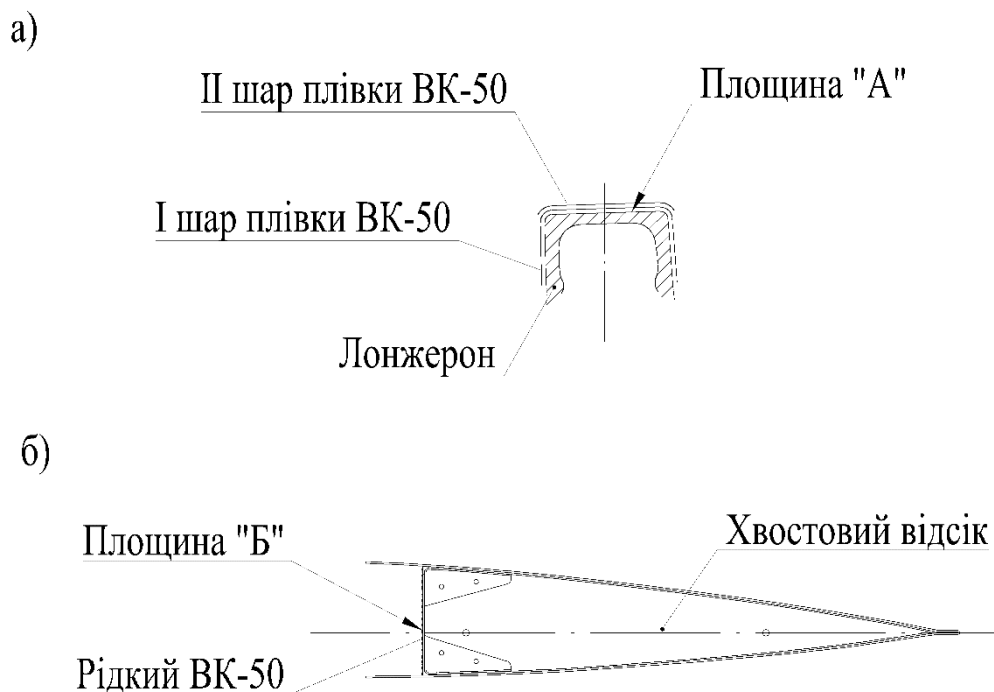


Рисунок 3.3 – Схема укладки клейової плівки на лонжероні (а) та нанесення рідкого підшару на хвостовий відсік (б)

Поверх рідкого підшару клею накладають плівку ВК-50 на площину «А» і бокові поверхні лонжерону, не допускаючи гофрів і повітряних пузирів, пригладжують валиком, знімають поліетиленову плівку з плівкового клею ВК-50. Знову наносять поверх плівки ВК-50 на площину «А» лонжерону шар рідкого клею ВК-50, з витратою клею $150-300 \text{ г/м}^2$ і дають відкриту витримку $5 \dots 10$ хвилин при температурі $15 \dots 35^\circ\text{C}$. Наклеюють другий шар плівкового клею ВК-50 на площину «А» лонжерону і пригладжують валиком. Знімають поліетиленову плівку з другого шару клейової плівки ВК-50 і знову наносять на другий шар плівки ВК-50 підшар рідкого клею ВК-50 з витратою клею $150-300 \text{ г/м}^2$. Далі хвостовий відсік встановлюють на лонжерон з витримкою розмірів (див. рисунок 3.3).

3.5 Склеювання хвостового відсіку з лонжероном

ЛНГ з встановленим новим хвостовим відсіком встановлюють у стапель для склейки (див. додаток А).

Лонжерон встановлюють в затискачі 5, впирають торець ЛНГ в підставку 8, заводять накінецьник ЛНГ у фіксатор 6 і вставляють стопори 7. Фіксують лонжерон в затискачах 5.

Підводять усі нижні домкрати 18 до торкання з лонжероном.

Встановлюють ЛНГ в стапелі так, щоб забезпечувалось прилягання хвостового відсіку до упору 9.

Опускають верхні прижими 14 або 15, в залежності від номеру хвостового відсіку що ремонтується, та встановлюються пружинні стяжки 16 або 17 в залежності від номеру хвостового відсіку що ремонтується.

Встановлюють розподільник 13 в положення «закрито», зажим 10 закриється, притиснувши склеювану частину, зажими 10 підводять тільки до хвостового відсіку, що ремонтується, та двох сусідніх до нього хвостових відсіків. Тут важливо проконтролювати тиск при склеюванні. Правильний тиск при склеюванні покращує змочувальну здібність клею, і як наслідок, сприяє більш повному заповненню клеєм мікронерівностей, перешкоджає виділенню летучих речовин, що утворюються в процесі полімеризації клею, і тим самим, утворенню пористого неміцного клейового з'єднання. Надлишковий тиск може призвести до витікання клею і утворення «голодного» клейового з'єднання.

Далі на шафі управління нагрівом 21 виставляють температуру та час склеювання згідно режиму полімеризації клею ВК-50 за таблицею 3.4

Таблиця 3.4 – Режими склеювання клею ВК-50

Марка клею	Температура склеювання, °C	Час склеювання, хв	Тиск, МПа
ВК-50	130±5	60±20	0,1-0,3

По закінченню режиму витримки виключають нагрів на шафі 21 і охолоджують ЛНГ до температури 40...50°C не знімаючи тиску склеювання.

ЛНГ демонтують зі стапелю, оглядають на наявні механічні ушкодження. Зачищають напливи полімеризованого клею ВК-50 скребками.

3.6 Контроль якості ремонту

Контроль якості ремонту забезпечується дотриманням вимог конструкторської, технологічної документації і технологічних режимів на усіх етапах ремонту.

В процесі ремонту контролю підлягають:

- технологічна оснастка;
- матеріали, що використовувались, на відповідність вимогам НД;
- основні технологічні операції (приготування клею, дотримання режимів склеювання і т.п.).

Контроль якості по завершенню ремонту включає:

- неруйнівний контроль склеюваних деталей;
- контроль геометричних розмірів;
- контроль маси конструкції.

Серед методів неруйнівного контролю деталей акустичний метод по об'єму застосування займає передове місце. Акустичний метод заснований на взаємодії пружних коливань і хвиль широкого діапазону частот з контрольованою деталлю. Акустичний метод вільних коливань (МВК) є ефективним методом неруйнівного контролю (НК) для склеюваних деталей. Метод оснований на збудженні в контрольованій конструкції широкого діапазону частот і реєстрації змін спектрів прийнятих сигналів в дефектних зонах порівняно зі спектрами на доброякісних ділянках. Для збудження коливань найчастіше використовують періодичні удари по поверхні конструкції [14].

Найпростіший варіант МВК є простукування – для виявлення пустот, дефектів клейових з'єднань. Недоліком простукування – суб'єктивність, оцінка

результатів контролю на слух. В наш час суб'єктивний індикатор замінений об'єктивним індикатором (прибором) [14].

Для прийому пружних коливань в дефектоскопах, що дозволяють реалізувати МСК, використовують п'єзоелектричні приймачі або мікрофони. П'єзоприймачі контактують з контрольованою конструкцією і сприймають коливання від конструкції. Недоліком п'єзоприймачів є схильність фрикційним шумам, що виникають при переміщенні по шорсткій поверхні об'єкту контролю (ОК). В перетворювачі з мікрофоном пружні коливання передаються через повітря. Перевага мікрофону – відсутність контакту і менша чутливість фрикційним шумам, недолік – чутливість зовнішнім акустичним шумам [14].

Для реалізації МВК, для контролю клейових з'єднань ЛНГ використовують акустичний дефектоскоп АД-60К (Рис. 3.4)



Рисунок 3.4 – акустичний дефектоскоп АД-60К з п'єзоприймачем та мікрофоном

При настройці на бездефектній ділянці запам'ятовуються максимальні значення амплітуди кожної гармоніки в спектрі прийнятого сигналу. Поріг для кожної гармоніки встановлюється як добуток максимуму на коефіцієнт, що лежить в діапазоні від 1,00 до 2,00. Перевищення амплітуди гармоніки над пороговим значенням під час контролю сигналізує о дефекті [14].

Процедура контролю полягає в плавному переміщенні перетворювача по поверхні виробу і спостереженні за сигнальним світлодіодом, що знаходиться на корпусі перетворювача. Сканування ЛНГ в зонах контролю клейового з'єднання необхідно проводити по черзі з обох боків [14].

Для настройки прибору використовують контрольні зразки (КЗ) з штучними дефектами (рис. 3.5).

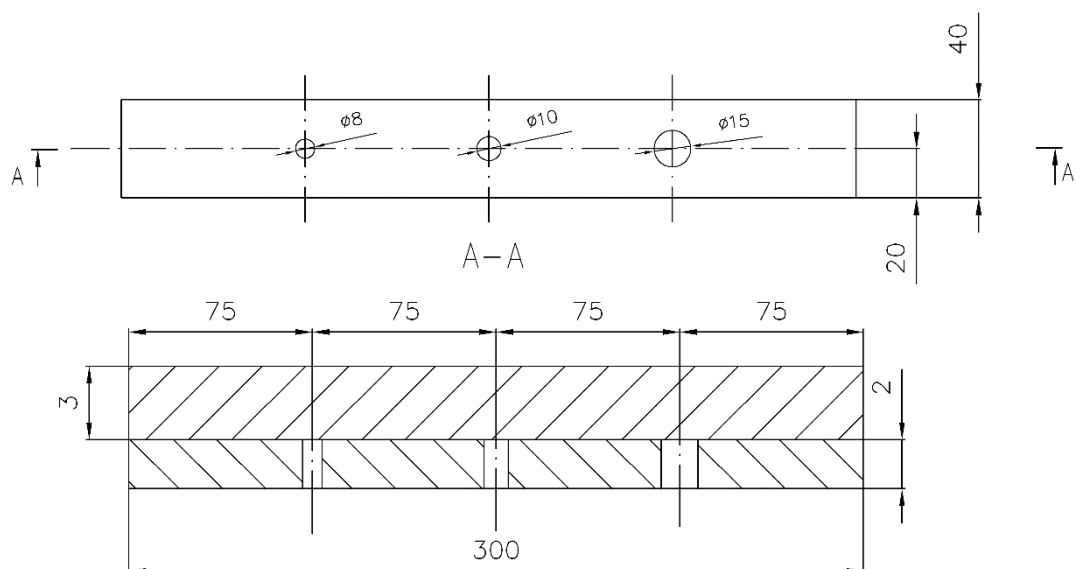


Рисунок 3.5 – контрольний зразок для настройки дефектоскопу

Модель дефектів типу непоклеїв в клейовому з'єднанні імітують свердлінням отворів в контрольному зразці.

4 ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ І ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1 При організації і проведенні усіх технологічних операцій ремонту композиційних конструкцій повинні дотримуватися інструкції по охороні праці і промсанітарії, що діють на підприємстві, і передбачає міри захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- підвищеного вмісту шкідливих парів і аерозолей застосовуваних смол, клеїв, розчинників і наповнювачів в повітрі робочої зони;
- підвищеного рівня запиленості повітря робочої зони;
- підвищеного рівня статичної електрики;
- гострих кромek, заусінців на поверхнях деталей, оснастки, інструменту;
- пожежонебезпеки і вибухонебезпеки застосовуваних речовин.

4.2 До роботи по ремонту композиційних конструкцій допускаються особи, що досягли 18 років, що пройшли медичний огляд, навчання і інструктаж по техніці безпеки, пожежної безпеки і атестацію на право виконання операції.

4.3 При попаданні на шкіру клеїв або їх компонентів слід видалити речовину сухим тампоном, з наступною обробкою шкіри етиловим спиртом і промивки шкіри теплою водою з милом.

4.4 При попаданні клеїв або їх компонентів у очі слід ретельно промити очі багатою кількістю води і негайно звернутися до медичного персоналу.

4.5 Усі роботи при проведенні ремонту повинні проводитись на заземленому обладнанні і оснастці при працюючій загальнообмінній і місцевій вентиляції. Вентиляція повинна забезпечувати вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони в межах, що не перевищують гранично допустиму концентрацію (ГДК).

4.6 Особи, що зайняті ремонтом, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту очей, шкіри і органів дихання. Рекомендовані засоби індивідуального захисту приведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Рекомендовані засоби індивідуального захисту

Засоби індивідуального захисту	Призначення
Халат із бавовняної тканини	Захист від пилу, зв'язуючого, розчинників
Перчатки бавовняні	Захист рук робітника від шкідливих факторів
Перчатки резинові	Захист рук робітника від шкідливих факторів
Респіратор типу ШВ-1, РУ-60М або РПГ-67	Захист органів дихання
Рукавиці	Захист рук робітника від термічного і механічного впливу
Окуляри захисні	Захист очей робітника від небезпечних і шкідливих виробничих факторів

4.7 Заходи по охороні навколишнього середовища здійснювати згідно діючій на підприємстві НД.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз відомостей про проблеми ремонту композиційних конструкцій, види дефектів та ушкоджень, розглянуто підходи їх ремонту, матеріали які використовуються при ремонті;

2. Розглянуто об'єкт дослідження – клейові з'єднання у лопать несучого гвинта, причини появи дефектів клейового з'єднання які призводять до появи тріщин і відриву хвостових відсіків, необхідність їх ремонту.

3. Обґрунтували вибір матеріалу для послідуочого ремонту клейового з'єднання лопаті несучого гвинта, розглянуто методику випробування на нерівномірний відрив для аналізу міцності клейових з'єднань, розроблення зразків та оброблення даних випробування міцності клейового з'єднання з використанням фенолокаучукового клею ВК-3, що використовується у серійному виробництві з «перспективним» клеєм ВК-50.

4. Розглянуто технологічний процес заміни хвостового відсіку лопаті несучого гвинта та обладнання що використовувалось при ремонті.

5. Контроль якості ремонту. Визначили, що серед методів неруйнівного контролю акустичний метод займає передове місце, і є самим ефективним методом при контролі склеюваних композиційних конструкцій.

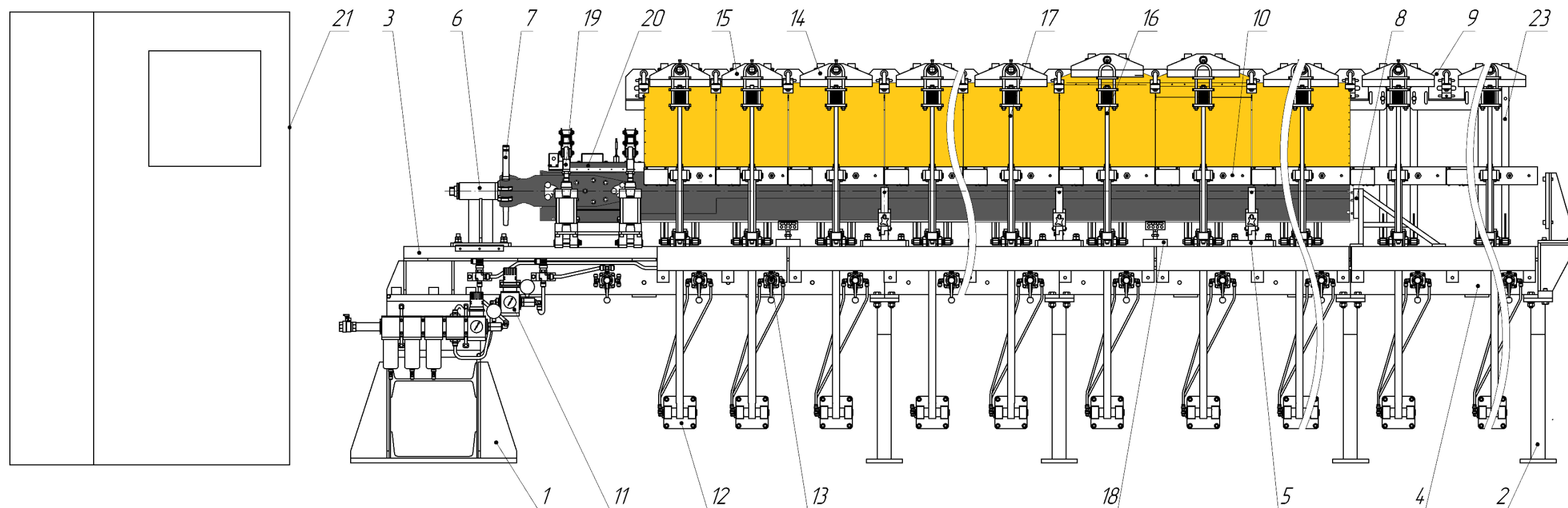
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Bethune A.W.: Durability of bonded aluminum structures; adhesion brochure 12; 1976, pp. 347–352.
2. Хохлова Р.А., Кирильчук К.О. Технологічні властивості сучасних клеїв для незшивного клейового скріплення // Поліграфічні матеріали. НТУУ «КПІ», Київ. 2011, №4(34). С.114-121.
3. Петрова А.П. Клеящие материалы. Справочник. Под ред. чл.-корр. РАН, д-ра техн. наук Е.Н. Каблова и д-ра техн. наук С.В. Резниченко. М.: ЗАО «Редакция журнала «Каучук и резина (К и Р)», 2002, 196 с.
4. Дяченко С.С. Фізичні основи міцності та пластичності металів: Навч.посібник. – Харків: Видавництво ХНАДУ, 2003. – 226 с.
5. Steinmez W.D., Trzaskows W.J. Aluminum surface preparation for aircraft field repair// SAMPE Quarterly.- 1990.- V. 21, No. 4.- P. 34.
6. Анопрієнко, А.К. Вибір клейових матеріалів при ремонті дорожніх машин по клеєклепаной технології / А.К. Анопрієнко, Н.І. Баурова // У збірнику: Інтерстроймех-2016. Матеріали міжнародної науковотехнічної конференції. НДУ МГСУ. - 2016. - С. 145-148.
7. Postnov V.I., Rivin G.L., Postnova M.V. Types of destruction of structures made of composite materials and technology for restoring their operational reliability // New materials and technologies NMT-98. Abstracts sci.-tech. conf. - М.: Publishing house "LATMES", 1998
8. Турусов Р.А., Лебедев С.Р. Ремонт элементов авиационных конструкций с применением соединений// Адгезионные соединения в машиностроении. Тез. докл. III Всесоюзн. межотрасл. научн.-техн. конф.- Рига, 1989.- С. 141-142.
9. Ouinas D., Bouiadjra B.B., Achour B., Benderdouche N. Modelling of a cracked aluminium plate repaired with composite octagonal patch in mode I and mixed mode// Mater. and Design.- 2009.- V. 30, No. 3.- P. 590-595.

10. Петрова А.П., Донской А.А. Клеящие материалы. Герметики. Справочник. С.-П.: Профессионал, 2008, 589 с.
11. Habenicht G., Dilger K. Optimierung der Klebstoffauswahl mit Hilfe eines Expertensystems// VDI- Berichte 775.- Düsseldorf: VDI- Verlag, 1989.- S. 289- 306.
12. ГОСТ 14759-69 Клеи. Метод определения прочности при сдвиге.
13. Sutton G.R., Stone M.N., Poole P., Wilson R.N. Repair of Components with Fatigue Cracks with Adhesive Patches// Repair and Refurbishment: Conf., London, 24-25 Sept., 1984. Abington, 1986.- P. 153-158.
14. Nondestructive Testing Handbook: in 10 vol.: 2-nd ed. V. 7: Ultrasonic Testing. Columbus, OH: American Society for Nondestructive Testing, 1991. 893p.
15. Гандзюк М. П. Основи охорони праці / М. П. Гандзюк, Є. П. Желібо, М. О. Халімовський. – К. : Каравела, 2011. – 384 с.

ДОДАТОК А

Стапель для склеювання лопаті несучого гвинта



1; 2 – Опори;

3; 4 – Балки;

5 – Зажим лонжерону;

6 – Фіксатор;

7 – Стопори;

8 – Підставка;

9 – Упори;

10 – Зажим боковий;

11 – Пневмообладнання;

12 – Пнемоциліндр;

13 – Пневморозподільник;

14, 15 – Прижими верхні;

16; 17 – Стяжки пружинні;

18 – Домкрат;

19 – Прижим;

20 – Упор;

21 – Шкаф управління нагрівом;

22 – Стойки.