

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет будівництва, архітектури та дизайну
(головне найменування інституту, факультету)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ
НА ЯКІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Виконав: студент 2 курсу, групи БАД-213м

Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

«Композиційні та порошкові матеріали,

покриття»

Артем СОКОЛЬСЬКИЙ

(ім'я і прізвище)

Керівник к.т.н., доц. Наталія ШИРОКОБОКОВА

(ім'я і прізвище)

Рецензент д.т.н., проф. Дмитро Павленко


(ім'я і прізвище)

2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Будівництва, архітектури та дизайну
Кафедра Композиційних матеріалів, хімії та технологій
Ступінь вищої освіти (освітній ступінь) магістр
Спеціальність 132 Матеріалознавство
(код і назва)
Освітня програма (спеціалізація) Композиційні та порошкові матеріали, покриття
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КМХТ
Олександр МІТЯЄВ 
« 11 » 10 2024 року

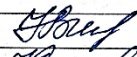

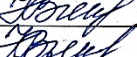
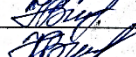
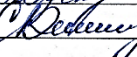
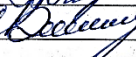
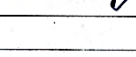
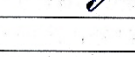
З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ(РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

Сокольського Артема Ігоревича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Дослідження впливу технологічних факторів на якість композиційних матеріалів
керівник проекту (роботи) Широкобокова Наталія Вікторівна к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від «11» 10 2024 р., № 407
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 02.01.2025 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) технічне завдання
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вплив технологічних факторів на якість композиційних матеріалів; вибір обладнання і методів контролю якості деталі «обшивка стабілізатора»; дослідження методів виготовлення та контролю композиційних матеріалів.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів) 16

6. Консультація розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	приймав виконане завдання
1	Широкобокова Н.В.		
2	Широкобокова Н.В.		
3	Широкобокова Н.В.		
Нормоконтроль	Савченко В.О.		

7. Дата видачі завдання « 11 » 10 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	15.11.2024	
2	Вибір обладнання і методів контролю якості деталі «обшивка стабілізатора»	30.11.2024	
3	Дослідження методів виготовлення та контролю композиційних матеріалів	10.12.2024	
4	Оформлення пояснювальної записки	27.12.2024	
5	Оформлення презентаційного матеріалу	20.01.2025	

Студент(ка)


(підпис)

Артем СОКОЛЬСЬКИЙ

(Ім'я та ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Наталія ШИРОКОБОКОВА

(Ім'я та ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 69 с, 11 рис., 1 табл., 32 літературних джерела.

Об'єкт досліджень – процес вакуумного формування обшивки стабілізатору із композиційних матеріалів для визначення ключових ризиків та дефектів у виготовленні виробів.

Предмет дослідження – визначення впливу етапів виготовлення композиційних виробів на виникнення дефектів та можливості їх усунення.

Мета роботи – розробка і покращення технології виготовлення обшивки стабілізатору із композиційних матеріалів для усунення вірогідних чинників утворення дефектів у структурі виробу.

Метод дослідження – аналітичний, графічний, експериментальний, методи розрахунків і проектування за допомогою програми AutoCAD.

У дипломному проекті розглядаються чинники, які впливають на якість виробу при його експлуатації, а також технологічні фактори і методи їх контролю. Для дослідження було виконано практичну роботу по визначенню впливу технологічних факторів на якість виробу, і методи усунення дефектів при виготовленні деталі.

ВАКУУМ, СКЛОТКАНИНА, ПРЕПРЕГ, ПОЛІМЕРІЗАЦІЯ,
ЗВ'ЯЗУВАЛЬНЕ, КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ.

ABSTRACT

The diploma work consists of 69 pages, 11 figures, 1 table, 32 literary sources.

The object of investigation is the process of vacuum forming of the lining of the stabilizer made of composite materials to identify the key risks and defects in the prepared products.

The subject of further investigation is the identification of the stages of preparation of composite viruses for the occurrence of defects and the possibility of eliminating them.

The purpose – development and improvement of technology for the production of stabilizer cladding from composite materials to eliminate potential causes of defects in the structure of the device.

The research method is analytical, graphical, experimental, development and design methods using the additional AutoCAD program.

The thesis project examines the factors that influence the efficiency of the virus during its operation, as well as technological factors and methods for their control. For further investigation, practical work was determined on the appropriate infusion of technological factors into the production capacity, and methods for eliminating defects during the production of a part.

VACUUM, GRINDED FABRIC, PREPREG, POLYMERIZATION, VENTURE, COMPOSITE MATERIALS.

ЗМІСТ

Вступ	7
Розділ 1 Вплив технологічних факторів на якість композиційних матеріалів	8
1.1 Температурний фактор	8
1.2 Вплив тиску	9
1.3 Вплив часу.....	11
1.4 Вплив вологості та інших зайвих включень.....	13
1.5 Вплив хімічних добавок	15
1.6 Технологія і якість виготовлення композиційних матеріалів	17
1.7 Методи неруйнівного контролю композиційних матеріалів.....	24
Розділ 2 Вибір обладнання і методів контролю якості деталі «обшивка стабілізатора»	33
2.1 Аналіз та порівняння методів контролю.....	33
2.2 Методи контролю просторових розмірів стабілізатору та композиційних матеріалів	34
Розділ 3 Дослідження методів виготовлення та контролю композиційних матеріалів	46
3.1 Вибір матеріалів та методів виробництва	46
3.2 Етапи виробництва обшивки стабілізатора.....	49
3.3 Аналіз дефектів у обшивці стабілізатора при його виготовленні.....	588
3.4 Методи усунення дефектів, утворених на деталях при проведенні експериментів	622
Висновки	655
Список використаних джерел	666

ВСТУП

Сучасне використання композиційних матеріалів розповсюджується на всі галузі інженерії, починаючи від самих помітних як авіабудування, кораблебудування, машинобудування або інші галузі промисловості і закінчуючи нашим побутом. Галузь синтезованих матеріалів пропонує нові вирішення складних інженерних проблем, без обов'язкової наявності високотехнологічного обладнання, додаткової механічної обробки для високої якості утвореної поверхні.

Композиційні матеріали комбінуються (тобто регулюється поєднання армуючої складової і матриці) так, щоб краще використовувати їхні переваги, водночас мінімізувати їхні недоліки. Цей процес інтенсифікації дозволяє проектувальникам позбутися обмежень, пов'язаних із вибором і виготовленням традиційних матеріалів, одночасно розширити можливості в підборі, а також зменшити зайві ланки (оксидування чи цинкування поверхні), або зменшити вагу конструкційних елементів. Також можна використовувати міцніші та легші матеріали, властивості яких налаштовуються відповідно до конкретних вимог. Завдяки простоті виготовлення складних форм та багаторазовості вже існуючих конструкцій, використання композитів призводить до більш економічного і технологічного поліпшення в обраних галузях промисловості.

В той же час виготовлення композиційних матеріалів є складним процесом у зв'язку з великою кількістю технологічних факторів, які впливають на якість продукції: вибір матеріалів, їх кріплення між собою, температурні режими, тривалість процесів, а також механічні та хімічні впливи. Керування цими факторами дозволяє контролювати та значно поліпшити властивості кінцевого продукту, отримати матеріали з необхідними характеристиками для різних цілей їх експлуатації.

РОЗДІЛ 1

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ЯКІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Температурний фактор

Температура є одним з основних чинників, що впливають на процес виготовлення композиційних матеріалів. Високі температури можуть прискорювати процес полімеризації, що є важливим для виготовлення композитів на основі термореактивних полімерів, таких як епоксидні смоли. В той же час надмірно висока температура може призвести до розкладу матеріалу, що значно погіршує його механічні властивості.

У процесі виготовлення композитів на основі термопластичних полімерів за рахунок температури контролюється процес «злиття» волокон з матрицею. Вибір оптимальної температури є критичним для забезпечення міцності та стійкості композитного матеріалу. Якщо температура занадто низька, це може призвести до недостатньої інтеграції волокон і матриці, що вплине на міцність матеріалу. Також необхідно зазначити, що невірно підібрана температура і її режим, наприклад: виготовлення “Панелі бокової” для гвинтокрила із композиційних матеріалів має склад препрегу із склотканини та зв’язуючого із полімерів викладений поверх або обгорнутий поверх авіаційного пінопласту таких, як пінопласт із покращеною якістю і вимог при його виготовленні (відносно його аналогів), та включає в себе при подальшому виготовленні операції із ґрунтуванням, фарбуванням, клепаанням та механічними операціями, а також необхідність урахування можливостей (температурних максимумів та зміни структури) оправки, або матриці при викладанні [1].

На кожному етапі отримання виробу (при різанні композиційного матеріалу, фрезеруванні чи свердлінні, або при його полімеризації у печі) температура може вплинути на якість механічних та хімічних факторів,

погіршення яких може привести до зменшення терміну подальшої експлуатації [2].

1.2 Вплив тиску

Тиск - фактор, який впливає на якість композиційних матеріалів, особливо під час процесу формування: вакуумування (стискання та викачка зайвого повітря) або пресування у матриці в термічних пресах. Підвищений тиск допомагає досягти кращого просочення волокон матрицею, що покращує механічні властивості композиту. Також високий тиск дозволяє створити щільнішу структуру, зменшуючи кількість пор або пустот, що покращує міцність матеріалу на розрив.

При вакуумних процесах виробництва композитів, де використовується низький тиск для видалення повітря з міжволоконного простору, тиск контролюється для забезпечення рівномірного розподілу матриці та досягнення потрібної консистенції матеріалу, товщини та копіювання поверхні матриці чи оправки (можливе використання ремонтного виду формування, де буде застосовуватися цей виріб (деталь), поверх якого буде викладений композиційний матеріал).

Контролювати тиск потрібно періодично та можливо більш регулярно, ніж температуру, у зв'язку з наявністю «холодної полімеризації» (без високих температур саме правильно підібраний тиск забезпечить якість формування та з'єднання шарів композиту чи деталі).

Існує декілька видів та режимів тиску при виготовленні даних деталей:

- пресування, використовується для створення композитів із термопластичних матеріалів, особливо при виготовленні конструкцій у вигляді пластин, труб, лопаток, лонжеронів, обшивок, у яких є деякі вимоги і необхідність контролю тиску; чи не великі розміри для відсутності потреби у

виготовленні великогабаритних матриць, а тим паче коли вони потребують виготовлення первинних та вторинних матриць із-за складності форм та інших факторів, тому пресування можливо віднести до більш індивідуальних замовлень або у крупносерійному виробництві, але також необхідно зазначити що при необхідності чи потребі є можливість у виготовленні великогабаритної продукції;

- метод автоклава, цей метод є важливим при виготовленні відповідальних компонентів, де необхідно досягти мінімуму пор і дефектів. У процесі формування у автоклаві композити піддаються високому тиску та температурі в герметичному середовищі, що дозволяє забезпечити якісне просочення волокон матрицею і мінімізувати повітряні пори. Завдяки надійній системі контролю тиску і температури, цей метод забезпечує відмінну якість кінцевого матеріалу з високими механічними та фізичними характеристиками. У порівнянні з пресуванням, метод автоклава дає змогу працювати з великими розмірами та складними деталями, що робить його універсальним для виготовлення високоточних, надійних та довговічних виробів;

- метод вакуумного формування є одним із найбільш простих і ефективних методів виготовлення композитів (а також найвідомішим), що широко застосовується для створення виробів з термопластичних матеріалів, зокрема у малосерійному і багатосерійному виробництві. Цей метод базується на використанні вакууму для деформації матеріалу на оправці, або як зазначалось попередньо можливо використання по формі наявних деталей чи виробів . Вакуумне формування застосовується для виготовлення легких конструкцій або поєднаних, таких як компоненти для автомобільної промисловості, побутових приладів, декоративних елементів, або для корпусу корабля (борт, дно, кілеватий корпус) , який збирається у великих приміщеннях (ангарах), і складається з каркасу та обкладеного препрегом по заданій формі і зібраний з багатої кількості вакуумних пакетів, а також великої кількості вакуумних насосів [3]. Тобто метод обмежується умовами

тиску у системі, а також чистотою та якістю виготовлених виробів при збільшенні розмірів вакуумування, також можливе погіршення якості препрегу, типу складок при великому перегині деталі, коли кут між двома вакуумованими поверхнями стає більш гострим ніж тупим.

- гідростатичний тиск використання рівномірного тиску з усіх боків, зазвичай створюється через занурення у рідину або за допомогою спеціальних камер. Метод гідростатичного тиску є одним із методів обробки композиційних матеріалів, у якого використовується рівномірний тиск, створений рідиною або газом, що діє на всю поверхню виробу, замість атмосферного відповідно до вакуумного методу. Цей метод дозволяє забезпечити рівномірний розподіл тиску з усіх боків, що особливо важливо для складних форм або великих виробів, які потребують високої точності та щільності і застосовується у процесах, таких як ізостатичне пресування. Під час цього процесу композиційний матеріал поміщають у спеціальну герметичну камеру, яка заповнюється рідиною або газом. Потім тиск рівномірно розподіляється по всій поверхні матеріалу, що дозволяє уникнути локальних дефектів і забезпечує однорідність структури і також як суттєва різниця між його аналогом (вакуумний методом) можливе використання більш високого тиску на деталь.

1.3 Вплив часу

Час є важливим фактором у процесах полімеризації та затвердіння матеріалів, відповідно як до обробки металів неможлива зміна структури без часу, так і взагалі усі зміни можливо зафіксувати тільки за наявності зміну часу та його контролю, але відповідно до металів наявність току високої частоти не можливо для використання у створенні композиту у зв'язку з неметалевою структурою більшості поєднань. Також слід зазначити що при

полімеризації композиційних матеріалів використовують печі інфрачервоного випромінювання у яких для виникнення процесу полімеризації використовують металеві матриці та оправки для нагріву.

Недостатній час полімеризації може призвести до того, що матеріал не набуде достатньої міцності, а надмірно довгий час може призвести до втрати властивостей, таких як еластичність. Правильне визначення часу для кожного етапу виробництва композитів є критично важливим для досягнення високих результатів. При виготовленні деяких композитів використовують матеріали для оправки в яких температура експлуатації менше за температуру полімеризації зв'язуючого у композиті, використовують попередню полімеризацію на менших режимах (потім деталь знімається і виконується кінцева полімеризація без оправки) або зі збільшенням часу но зменшенням температури.

Час, необхідний для затвердіння композитних матеріалів, також залежить від температури та тиску, оскільки вони можуть прискорювати або уповільнювати процеси полімеризації та затвердіння. Врахування цих факторів і їх регулювання допомагає зберегти якість матеріалу та його стабільність на всіх етапах виготовлення в залежності від різних факторів, наприклад існує умова обмеження температури в 125°C з 165°C і відповідно буде необхідна зміна часу для завершення процесу полімеризації з 2 годин для температури у 165°C на 3 години при 125°C , але також необхідно розуміти що не для усіх зв'язуючих є можливість такого зміну режиму у зв'язку з наявністю обмеження на мінімальну температуру нагріву що може призвести до часткової полімеризації і неможливості подальшого виконання режиму нагріву.

1.4 Вплив вологості та інших зайвих включень

Вологість є ще одним важливим фактором, який може впливати на якість композиційних матеріалів, особливо на етапах зберігання і обробки волокон. Висока вологість може привести до проникнення води в структуру матеріалу, що погіршує його фізико-хімічні властивості. Це може викликати корозію або деградацію матеріалу, а також знижувати його міцність і стійкість до навантажень.

Контроль вологості є важливим етапом на всіх етапах виробництва композитів, зокрема під час зберігання волокон, при обробці матриць, а також під час формування та затвердіння матеріалу. Тому виробники композитів повинні дотримуватися строгих норм щодо вологості та температури. Це відповідає стандартам про необхідну чистоту повітря, яке регламентується державним стандартом ДСТУ ISO 14644-1:2009, клас для виготовлення композитних виробів співпадає та існує при 4 класі чистоті та більше, але при більш відповідальних умовах виробництва або самого створення композиційного матеріалу необхідно використовувати вищий клас чистоти у зв'язку з необхідністю дотримання високих вимог до якості, а також безпеки на виробництві де в повітрі можлива присутність ефірних, формальдегідних та інших смол та речовин.

Волога яка виникає, як конденсат при зберіганні при від'ємних температурах у морозильних камерах створених для зберігання препрегу, зв'язувальної суміші, та інших розхідних матеріалів, а також розкроїв перед наступною формовкою матеріалу на оправках чи викладки на матриці. Також волога виникає на склотканинах яка зберігається у приміщеннях біля місць просочення смолами, або робочих місць викладки, при наявності багатосерійного виробництва і не можливості зберігання в інших місцях вищезазначені матеріали, або у пінопластових вкладишах чи серцевинах які імітують пустоту та облегшують подальшу конструкцію, у зв'язку з великою

пористістю і гарною властивістю вбирати у себе вологу і інші зайві речовини яких велика кількість на ділянцях цехів чи підприємств.

Для забезпечення якості виробів і уникненню подальших дефектів пов'язаних з неякісним зберігання та умовами зберігання виконують просушення виробів яке залежить від їх типу, структури, та відповідно об'єму, так як крім вологості існує наявність воску у склотканинах чи можливі бензинові чи ацетиленові включення на деталях при зберіганні чи їх виготовленні.

Виробники які виготовляють склотканину просочують її парафіновою емульсією чи іншими видами олії які використовують для її зберігання, але її наявність в складі тканини може сильно впливати на подальшу якість виготовленого препрегу, тому необхідно виконати операцію відпалу яке одночасно використовується як і заміна сушки для видах тканин які були промаслені, але треба враховувати що не усі тканини мають попереднє просочення.

Відпал можливо виконувати відносно для великих, а також малих масштабах відносно потреби і збереженню подальшого часу, при відпалі необхідно брати у розрахунок об'єм камери печі та її максимальну температуру, так як для деяких олій чи ефірів різниця температури пароутворення та відповідно видалення з тканини вологи різне і може збільшуватися у пару разів або потребувати набагато більшого часу, що суттєво впливає на вибір обладнання (печей) та їх тип, так як інфрачервоні або схожого типу не підійде до даного виду виконання операцій у зв'язку з неможливістю нагріву не металевих поверхонь (при додаванні, або викладки на металевий протівень не буде мати успіху, воно лише спалить її), а також з урахуванням тільки використання печей як для сушіння і відпалу окремо, може в подальшому відіграти ганебну справу, яку вирішить тільки закупівля та перепланування нового обладнання зі старим. Ще необхідно прорахувати об'єм необхідної камери печі, так як при великій кількості тканини та маленькому при малому залишковому об'ємі не вистачить простору для

видалення осадків ефірів та олій, тканина почне з одного місця просушуватися з іншого (особливо якщо сушка багатоярусна) накопичувати їх.

У зв'язку зі складним розташуванням склотканини, а також великим об'ємом і площиною для її просушки, печі краще виготовляти або замовляти спеціально для цих потреб, у зв'язку з великою кількістю часу для відпалу, а також необхідністю наявності витяжки.

Просушення від вологи має кращі показники в технологічності процесу у зв'язку з меншими потребами у часі та температурі, а також необхідним обладнанням, тому краще використовувати склотканину без додавання різних консерваторів, що буде економити час та енергію, яка при великих обсягах виробництва збільшиться у сотні разів.

Рекомендується виконувати просушку та відпал як можливо більш великих об'ємів тканини для економії ресурсів, та необхідного часу.

1.5 Вплив хімічних добавок

Хімічні добавки, такі як пластифікатори, стабілізатори, прискорювачі полімеризації та інші модифікуючі агенти, є важливими компонентами процесу виготовлення композиційних матеріалів. Вони використовуються для покращення властивостей матеріалу, зокрема міцності, гнучкості, стійкості до навантажень та термостабільності. Однак, на відміну від впливу вологості чи інших зайвих включень, добавки є контрольованими елементами технологічного процесу, і їхній вплив безпосередньо залежить від точності дозування та умов використання.

Однією з ключових проблем є те, що неправильний підбір або передозування хімічних добавок може викликати появу дефектів у матеріалі, таких як зниження стабільності, утворення пор, тріщин або нерівномірна

полімеризація зв'язуючого, що може вплинути на утворення дефекту на частині деталі чи виробу у відповідальному місці чи там де необхідне суцільна поверхня, із за чого буде необхідність забракування деталі або виробу без подальшої можливості до її ремонту. Наприклад, при використанні пластифікаторів у надмірній кількості може зменшитися жорсткість композиту, а стабілізатори у високих концентраціях можуть погіршити його адгезійні властивості, що вплине на розшарування шарів препрегу чи відшарування від приклеєної деталі.

Додаткові ризики пов'язані з використанням добавок, що схильні до вивільнення летючих речовин, таких як ефіри чи формальдегідні смоли. Це вимагає дотримання суворих стандартів чистоти на виробництві, наприклад, відповідно до вимог ДСТУ ISO 14644-1:2009. Для уникнення потрапляння залишків хімічних речовин у повітря виробничих приміщень, особливо у випадках багатосерійного виробництва, необхідно використовувати витяжні системи та регулярне очищення робочих зон, яке повинно контролюватися самописцями та іншими контрольними приборами.

Хімічні добавки також мають вплив на зберігання матеріалів. Наприклад, прискорювачі полімеризації, що входять до складу препрегів, зв'язуючих або інших попередньо оброблених матеріалів, можуть змінювати свої властивості за неправильних умов зберігання, з початком полімеризації і зміни структури яке відносно до металів вже не оборотне і буде дуже важко повернути до відповідного стану матеріали. Висока вологість чи невідповідна температура можуть спричинити небажані хімічні реакції, що призведе до погіршення якості готового продукту. Для забезпечення оптимальних характеристик композиційних матеріалів необхідно використовувати добавки у чітко визначених пропорціях відповідно до інструкцій або стандартів за якими вони були виготовленні, а також необхідно щоб виконавці або робітники мали високий рівень знань у галузі в якій працюють інакше людський фактор на підприємстві ніхто не відміняв, також необхідно використовувати добавки, які відповідають стандартам

якості та вимогам виробництва, краще втрати партію одних із складових ніж потім втратити виріб та інші застосовані складові.

При впливі хімічних факторів треба також брати у рахунок і умови зберігання, щоб уникнути деградації властивостей.

Звісно що при виготовлені виробів необхідно на усіх етапах контролювати умови формування, створення та обробки композитів для уникнення утворення небажаних включень чи залишкових напружень, як і в випадку із зайвими включеннями (вологість, пил, мастильні матеріали), правильне управління впливом хімічних добавок дозволяє уникнути дефектів і досягти високої якості кінцевого продукту. Виконання цих заходів сприятиме збереженню механічних і фізико-хімічних властивостей композиційного матеріалу та забезпечить стабільність його експлуатаційних характеристик.

1.6 Технологія і якість виготовлення композиційних матеріалів

Підготовка зв'язуючого (матриці). Процес виготовлення композитних матеріалів розпочинається з підготовки сировини, цей аспект включає в себе приготування епоксидної смоли тобто нашої матриці яка є основним захисником армуючої складової і «формотримача», так як у виготовлені препрегів, саме зв'язуюче несе на собі утримання форми тканини. До них належать багато видів клеїв з різними характеристиками фізичними і хімічними, а також що особливо з різними режимами та складниками, тобто неможливо за необхідності швидко перейти до вприготування суттєво різних зв'язуючих не говорячи про просочення тканини.

Як для більшого розуміння в різності структур, режимів і використаного обладнання необхідно привести приклади і різновиди одних за типом або різних, один із таких це поліуретанові клеї, які бувають

холодного та гарячого затвердіння. До їх складу входять поліефіри, поліізоціанати та наповнювачі (зокрема цемент). Хімічна реакція, яка відбувається при змішуванні компонентів, забезпечує затвердіння клею. Вони мають універсальну адгезію завдяки полярним групам (NHCO), хорошу вібростійкість, міцність при нерівномірному відриві та стійкість до впливу нафтових палив і масл. Відомі марки таких клеїв - ПУ-2, ВК-5, ВК-П, лейконат і вилад. Важливо зазначити, що ці клеї токсичність і їх різну галузь використання, де для одного випадку вони можуть бути підшаром для викладки просоченої тканини або для приклейки: композиту-метал, метал-метал.

Також модифіковані карбоновмісними сполуками клеї вирізняються високою термостійкістю. Наприклад, клей ВК-20 здатний витримувати тривале нагрівання до 350–400 °С і короткочасно до 800 °С, зберігаючи високу міцність, або змінювати адгезію при малих дозах «легування».

Клеї на основі цианоакрилатів, зокрема марки ЕО №87 і ЕО №170, не схильні до старіння, і їхня міцність збільшується під час зберігання.

Кремнійорганічні клеї характеризуються теплостійкістю, але мають низьку адгезію через блокування полярних груп кремнію органічними радикалами. Для підвищення адгезивних властивостей ці клеї часто комбінують з іншими смолами. У складі багатьох клеїв також використовуються мінеральні наповнювачі для покращення властивостей.

Підготовка тканини (армуючої складової). Підготовка тканини для просочення відбувається від просочення смолою у зв'язку з тим що смола набагато менше часу може бути придатною до використання у зв'язку з тим що при змішанні компонентів починається полімеризація яка може сягати як декілька годин так і 15 хв, особливо влітку коли середня температура підвищується, тому як було зазначено у попередніх пунктах необхідний клас чистоти, а також відповідальний підхід до контролю і регулюванні температури на виробничих ділянках, а рекомендується використовувати методики або інструкції у виробництві композитів відповідно до матеріалів

які використовують при виготовленні у зв'язку з конструктивно різними режимами обробки і експлуатації.

В більшості випадків виробники композиційних матеріалів чи їх складових зазначають режими використання їх продукції, але у більш розвинених підприємствах використовують свою довідники чи інструкції, а також зі своїми режимами чи складом, також велика кількість матеріалів не є у громадському доступі та має обмежене коло користувачів, тому навіть при виборі температури для відпалу, або сушінні тканини не говорячи про приготуванні зв'язуючого треба ретельно ознайомитись із необхідною літературою, або використовувати тільки зазначені на підприємстві чи конструкторській документації технічні умови чи інструкції, так як відхилення від будь яких режимів може або мати прикрі наслідки, або зберегти якість продукції та підвищити технологічність.

Основні етапи при обробці тканини включає в себе відпал, або сушіння. Відпал може включати в себе більш високу температуру ніж сушка, а також потребувати більш великого простору для очищення від парафіну чи олій, сушка ж має більш просту задачу, але також відповідальну як і відпал, вона використовується для просушення тканини від вологи чи більш ефірних складових ніж олії і парафін.

Очищення тканини необхідне перед нанесенням смоли на склотканину та її просоченню, необхідно ретельно очистити, щоб видалити, консерваційні складові чи вологу, при наявності більш специфічних складових, як бруд чи мастила, тканину необхідно обрізати та виключити з подальшого використання, особливо при виготовленні відповідальних конструкцій, так як за часту її не використана ціна буде забагато менше ніж деталь. Це забезпечить кращу адгезію між волокнами і смолою.

Попереднє нарізання виконують після термообробки чи після, залежно від технологічного процесу, можливе як попереднє так і після термальне оброблення: склотканину слід нарізати на заготовки необхідної форми та розміри, з мінімальними витратою матеріалу, це виконують як в ручну так і

спеціальним обладнанням. Важливо уникати перекручування чи витягування волокон при розкрою, але частіше зовсім уникнути цього не можливо у зв'язку з тим що ми говоримо не про тканину яка використовується для покрою штанів чи пончо, а про склотканину та вуглепластик (також і про інші армуючі матеріали), які мають високий поріг до зсуву та розтягу, тому її тактильна щільність не дає великої змоги до упередження розпаду структури тканини чи заготовки і в таких випадках використовується більший зазначений припуск на даний матеріал чи попереднє просочення і коли воно стає препрегом вже починається розкрій.

При виконанні розкрою ручною працею якість і точність виготовлених заготовок, а відповідно і подальша їх ефективність в викладці приходять до сумнівного фіналу, який виникає при накладанні одних допусків на інші, особливо коли розкрій був розраховано на високий розхідний коефіцієнт матеріалу(РКМ), а також велика кількість ниток та виникнення розшарування шару заготовки тканини, таке явище частіше виникає при щільному матеріалі, та невеликих заготовок. При виконанні розкрою ручною працею необхідно закладати великі заготовки так достатній припуск по краям, інакше можлива нехватка тканини при викладці на оправку після її просочення у виді препрегу, але і при такому розкладі є можливість розтягнення матеріалу що може покрити необхідні зони майбутньої деталі(за відрізні канавки).

Виконання розкрою на спеціальному обладнанні, а це є плоттери та різні їх види більш направлене на оптимізацію виробництва, підвищення якості розкрою, його точності, високих показників РКМ та необхідність лише одної людини при виконанні великого об'єму виробництва (не рахуючи інженера який буде виконувати цій людині розкрій та витратити свій час), що призводить до автоматизації.

Коли мова заходить до високих вимог при розкрою з точністю до 0,1 мм то ручна праця відходить на другорядний план, при виконанні такого виду заготовко отримання стає до нагоди допоміжні матеріали які ще не були

озвучені, це вакуумні та роздільні плівки, які підходять як для прямого застосування зазначених виробником так і для використання у вигляді верхнього шару що буде притискати склотканину (чи інші види) до столу, у зв'язку із наявністю у плоттерів вакуумного столу на їх основі він використовуються для притискання препергів, але так як наша структура пориста і при ході леза по столу воно буде змикатися, цей спосіб забезпечить міцного притискання і також розкroєний вакуумна чи роздільна плівка знадобиться при подальшому просочені і викладці, що підвисить технологічність даного методу. Також деякі тканини мають достатню щільність між утками що дозволяє їх притискання без ускладнення процесу.

Просочення зв'язувальним (смолою). Необхідно виконувати у відведених до цього місцях (облаштованих дільницях або відведених кімнатах які називають «чисті кімнати») зв'язувальне повинна наноситися рівномірно, щоб забезпечити повне просочення тканини, чистоту його нанесення та уникнення потрапляння бруду чи зайвих домішок, особливу увагу необхідно привернути то різних засобів для знежирення чи масл, яких велика кількість у такому виробництві, так як деякі в деякі зв'язувальні можуть входити відповідні суміші, що просто їх розтворить чи змінить структуру, а це є не оборотній процес. Для просочення використовується метод ручного нанесення, вакуумна інфузія, а також обладнання у вигляді просочувальних машин, які дозволяють видалити частину повітря та досягти необхідного співвідношення волокна до смоли.

Для рівномірного розподілу смоли та видалення повітряних кишень при ручному методі і вакуумній інфузії застосовуються валики чи шпателі, звісно для інфузійного методу необхідність та частота використання ручних методів праці зменшується, але й відповідно зменшується складність виробу та деяких технологічних рішень які застосовується у великому і просторово складному процесі просочення, викладки та фіксації препрегу. Одна із просочувальних машин вказана на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 - Модульна лінія просочування для виробництва тканинних і препрегів, а також джгутових препрегів

Використовуються розчинники із термоплавких смол (зв'язуючих) на одній лінії, а також покриття реверсивним валиком для виробництва полімерної плівки за допомогою термоплавких смол, що покращить якість нанесеного шару смол і забезпечить належний стан після накатки у ролики.

В таких машинах існує точне керування тепловим процесом: швидкість нагрівання та охолодження можна точно регулювати. Що дозволить створення препрегів які не можливо виготовити ручним просоченням а також з необхідними режимами у автоматичному режимі що підвищить якість виготовленої продукції і зменшить брак з кількістю непросочених зон, де не вистачає зв'язувального, але також і не можливо нанести додаткову кількість зв'язувального при його нестачі, що може забракувати велику кількість виготовленого матеріалу.

Підвищення якості полімеризації. Якість полімеризації є ключовим завданням у виробництві композитних матеріалів, оскільки від цього залежить механічна міцність, хімічна стійкість та довговічність майбутніх конструкцій і виробів.

Необхідно виконувати контроль температури, вона повинна відповідати специфікаціям смоли та забезпечувати рівномірний нагрів у

всьому об'ємі виробу. Недостатній нагрів може призвести до неповної полімеризації, тоді як перегрів - до термічної деградації смоли, а також треба враховувати матеріали та об'єми матриць та оправок на яких було викладено препрег.

Час полімеризації повинен бути оптимізованим та врегульованим відповідно до температури, так як надмірно короткий цикл може залишити смолу незатверділою, тоді як занадто тривалий час може вплинути на механічні властивості композиційного матеріалу, або зіпсувати матрицю чи оправку.

Також треба використовувати вакуумування у всіх його можливих видах, які дозволяє конструкція виробу для видалення повітря та мінімізувати утворення пор у структурі матеріалу, також це слугує пресуваннями для армуючої складової і зменшить можливість розшарування, або використовувати пресування там де є відповідальні та особливо відповідальні деталі та вузли, так як пресування краще проявляє себе при порівнянні з вакуумуванням у галузі механічних властивостей, але зменшують кількість смоли. Це особливо важливо при виготовленні великих деталей, таких як корпуси кораблів або повітряні судна чи аерокосмічні компоненти.

Забезпечення рівномірного просочення волокон смолою є важливим для уникнення локальних дефектів та слабких зон у матеріалі. Використання інфузійних методів, таких як вакуумна інфузія чи використання заздалегідь просочених препрегів на прокатних машинах, що може значно покращити якість просочення і зберегти час який необхідний при залежності від нього у усіх його складових компонентах композиційних матеріалів.

Використання сучасні системи моніторингу, такі як оптоволоконні сенсори, термічні датчики, самописці і інші, дозволяють контролювати процес полімеризації в реальному часі та коригувати параметри у разі відхилень.

Також необхідно уникати критичних моментів, таких як:

- перегрів матеріалу при формоутворенні. Екзотермічна реакція смоли може викликати локальний перегрів, особливо у великих масах смоли. Це може спричинити утворення тріщин або зміну фізико-хімічних властивостей.

- погане ущільнення при пресуванні або неправильний вакуумний режим можуть залишити вільні зони які залиються зв'язувальним та зам'ятою тканиною, що спричиняють дефекти в структурі.

- неправильна підготовка поверхні матриці чи оправки, або підготовка армуючої частини (скловолокно, вуглепластик) може призвести до зниження адгезії між компонентами та викликати розшарування матеріалу.

Формування належить до полімеризації композитних деталей і здійснюється різними методами залежно від їх розмірів, форми та функціональних вимог так як матеріал викладається шарами на форму (матрицю) вручну або автоматизовано, при цьому контролюється орієнтація волокон для досягнення необхідних механічних властивостей, в залежності від нахилу: 45° , 90° , $45^\circ \times 45^\circ$, $90^\circ \times 90^\circ$ (найчастіші).

1.7 Методи неруйнівного контролю композиційних матеріалів

Оскільки наявність дефектів у армованих пластиках після полімеризації або у його початковому вигляді як препрегу, або як наслідок пошкодження після зняття з оснастки (матриці чи оправки), певною мірою неминуче, та в більшості випадків непомітне, так як такі види дефектів порівняно з помітними (скол, тріщина, відломи) мають невеликий розмір, існують у між шарових просторах, або не помітні із за структури матеріалу і відповідно наражають на скриту небезпеку у подальшій експлуатації виробу, яку необхідно враховувати виробникам і споживачам.

Для цього необхідні чутливі методи виявлення даних дефектів і пошкоджень. Значна частина технологій, розроблених раніше для металевих виробів та конструкції перейшло в галузь композиційних матеріалів з відповідними змінами для використання з композитами. Деякі з цих прийомів більш корисні, ніж інші (таких як використання рентгену або ультразвуку), і часто це стає в нагоді, маючи декілька аналогів, так як добре в випадку неточних або при неможливості використання одного методу використати інший метод у зв'язку з багато складовою структурою матеріалів і їх різного поєднання, таких як: композит-метал, композит-композит (при поєднанні різних структур волокон і їх матеріалу), де це можливо, а не покладатися на один метод без перевірки іншим (хоча б для перших випробувань).

Оптичний огляд. Один із методів дослідження дефектів у композиційних матеріалах у напівпрозорих структурах це перевірка в проходження світла яка може дати ознаки наявності пір, або поганого намокання, розшарування волокон та грубих включень. Пропускання світла також іноді може бути кореляційним. Втрата прозорості, як побілення під впливом стресу (при згинанні чи розриві), тобто зміна кольору пов'язана з розвитком роз'єднання волокон/смоли і розтріскуванням смоли. У непрозорих композитах єдиним можливим візуальним методом контролю є спостереження пошкоджень поверхневого шару. Виявлення поверхневих тріщин може бути покращене методами проникнення барвників або спеціального рентгену чутливого розчину (при рентгеноскопії чи комп'ютерній томографії). Методи муару вимагають друку фотографічних сіток поверхні композиту та опромінюють когерентним світлом. Отримані інтерференційні смуги дають чіткі індикації локальних концентрацій напруги та деформації, у тому числі тих, що виникають під поверхнею пошкодження. Використовуються також лазерні голографічні методи та електронна спектр-інтерферометрія для непрозорих матеріалів.

Рентгенографічні методи дослідження дефектів. Рентгенографію нелегко застосувати в польових умовах використовуючи переносні рентгенографічні апарати з вузько направленим спектром випромінювання (існує великий вибір даних обладнань і їх розхідників серед особливо китайських та німецьких виробників) і відповідно можна отримати інформацію про якість композиту і наявність дефектів при рентгенівському дослідженні. Контактна рентгенографія з джерелами 50 кВ або менше дає високий контраст фотографії з матеріалів низької щільності, таких через низьку властиву їм фільтрацію, для покращення знімків і роботи з даним методом існують спеціальні програми налаштовані на роботу відповідного обладнання (комп'ютерна рентген-томографія), звісно це не можливо використовувати для тих апаратів де фіксація кадру задовольняється на рентгено-чутливій плівці.

Лінійний коефіцієнт поглинання скла приблизно в двадцять разів перевищує коефіцієнт поглинання більшості смол, а вимірювання щільності плівки можна співвідносити з об'ємом, якщо матеріал непігментований. Розподіл волокон, якість переплетення та наявність великих дефектів можна легко дослідити. На контактних рентгенограмах видно клітковину і розподіли фаз також були проаналізовані методами оптичної дифракції для отримання кількісної інформації про розподіл клітковини. Чутливість контактної рентгенографії можна підвищити шляхом просочення композиту з рентген контрастним матеріалом, як правило, спиртовим розчином йодиду цинку, але для торцевих поверхонь і загальних, звісно він не проникне в полімеризовану структуру матеріалу, що було б вирішенням великої кількості проблем з діагностикою композиційних матеріалів, такий же метод дуже поширений у медицині та використовується для дослідження деяких органів в які введено рентгено-чутливі компоненти.

За цією технологією, розділення тріщин довжиною порядку кількох мм і глибиною 0,1 мм можливо виявити і легко усунути відповідним зв'язуючим

(але не для усіх смол це можливо, потрібно буде замінювати смолу на іншу схожу за характеристиками).

Дослідження за допомогою тепловізора. Коли рівномірний тепловий потік подається на пластину, будь-які аномальні коливання результуючої температури і розподіл в пластині є ознакою на структурні дефекти матеріалу у зв'язку із наявністю тертя. Аналогічно, в іншому випадку рівномірний матеріал, що працює під змінними навантаженнями, локальне пошкодження призведе до змін гістерезисе теплових втрат в тілі матеріалу. Тепловізор, з обмеженням визначення температури різниці близько $0,2^{\circ}\text{C}$, легко проводити за допомогою інфрачервоної телевізійної фотографії, або за портативними телевізорами які дозволяють фіксацію і контроль температури у реальному часі.

Пошкодження може бути виявлено в склотканих/епоксидних препрегах при низьких напругах і частотах, але в матеріалах з вищими показниками виявлення теплопровідності складніше. Потрібні тестові частоти понад 5 Гц щоб виявити пошкодження структури через їх високу теплопровідність. Тепловізійне обладнання у різні галузі і їх оптимізація, цей перехід дозволяє використовувати даний метод у різних сферах виробництва і його напрямках та має не велику ціну порівняно із рентгенівським способом.

Ця технологія має перевагу над багато іншими методами, тому що це технологія віддаленого моніторингу і фіксації. Було розширення застосування термографії в останні роки завдяки використанню перехідних джерел тепла та швидкому скануванню індукованого теплового поля за допомогою сумісних з відео/фото інфрачервоних зображень, що є основою імпульсної відео-термографії. Це розширення традиційної термографії дозволяє швидке виявлення приповерхневих дефектів. Метод термопружного напруження і його аналіз, який використовує термопружний ефект, де супроводжується зміна температури та адіабатична пружна деформація тіла. Ця техніка забезпечує просторову роздільну здатність до 1 мм і температурна дискримінація приблизно $0,002^{\circ}\text{C}$ для змін напруги приблизно 2 МПа в

сталі, але в композитів існують потенційні проблеми інтерпретації через їхню анізотропну природу.

Ультразвукова техніка і контроль. Метод ультразвуку, тобто ультразвукова перевірка є найбільш широко використовуваним методом для композитів (а також самим спірним при використанні на практиці). Швидкість і ослаблення ультразвукового імпульсу, що проходить через матеріал, надають інформацію про загальні фізичні властивості (тобто жорсткість) і структуру (стан внутрішнього дефекту/пошкодження) матеріалу, за умови врахування певних основних характеристик матеріалу, таких як анізотропія.

Більшість композитів дуже дисперсні, часто мають регулярні структурні візерунки на кількох рівнях масштабу: волокна, джгути волокон, переплетення тканини під різними кутами відносно шарів тканини, послідовність укладання препрегу (особливо при поєднанні склотканини і вуглепластику) і властивий розподіл дефектів. Ультразвукові хвилі в композитах із-за складності і неоднорідності структури сильно ослаблені, їх швидкість і загасання залежать від частоти на яку впливає конструкція препрегу. Також можуть впливати структурні дефекти та пошкодження, навантаження і товщина деталі. Проблема високого загасання долається використанням широкосмугових перетворювачів і хвиль низької частоти, які дають коротші, більш проникаючі імпульси з менш вираженим ближнім полем на вплив інтерференції.

Завдяки низькій інтенсивності імпульсу, що використовується під час тестування композитів, виникає більш високе підсилення, ніж це необхідно для інших матеріалів (метал, одно складові структури), але більшість звичайних ультразвукових методів включають вимірювання швидкості хвилі «пульсу», ехо-методи, гоніометрію та ультразвукове дослідження інтерферометрії.

Найбільш розвинутий ультразвуковий метод, заснований на вимірюванні наскрізної товщини затухання - ця техніка сканування, яка зазвичай використовується для перевірки великих товщин у панелях

(деталях, виробках). Синхронізація растрових скануючих рухів передавача і приймача (або у водяній ванні, або за допомогою зрошеного водоструменя зонду) на протилежних сторонах пластини дозволяють вимірювати інтенсивність переданої хвилі, зробленої як функція позиції. Зазвичай використовують сфокусований передавач, орієнтуючись на задню поверхню пластини (деталі). Необхідно розташувати приймач якомога ближче до передньої поверхні.

Інтенсивність переданого сигналу використовується для модулювання яскравості візуального дисплея або щільності чорнила на діаграмі, щоб створити картину для аналізу якості плити (деталі). Роздільна здатність техніки обмежена дисперсією в композиті та розміром балки. Для виявлення дефектів необхідно використовувати щось на зразок сфокусованого зонда 4 МГц, розміром порядку 1 мм. Сканування є більш надійним індикатором на загальну якість, ніж як детектор конкретних дефектів.

Великі порожнечі, розподіл тонкої пористості, області зміни вмісту волокон, і відшаровані ділянки зазвичай виявляються за допомогою сканування, але для оцінки складності специфічних дефектів необхідно виготовити стандартні пробні пластини, що містять плоскі просвердлені отвори різної глибини та діаметру для цілей калібрування. Тобто контрольні зразки які виготовленні і можуть використовуватися тільки для конкретного матеріалу та його товщини, при необхідності контролю матеріалу з іншими властивостями необхідно виготовляти новий зразок. Традиційне сканування є повільним процесом, але дозволяє працювати в режимі реального часу за допомогою таких приладів як АТ-60К та інші.

Оптично волоконні датчики і їх застосування. Оптично волоконні датчики мають низку переваг перед іншими типами датчиків: вони стійкі перед електромагнітними перешкодами і можуть бути вбудовані в композитний матеріал під час виробництва. Замість простого поверхневого монтажу їх можна використовувати для моніторингу кількох параметрів, у тому числі температури, тиску, механічної деформації та хімічних характеристик, а також

вони пропонують можливості, як для оптимізації процесів, так і для моніторингу працездатності під час роботи.

Механічні властивості композитів сильно залежать від хімічних і реологічних подій, що відбуваються під час циклу лікування. Зараз існує значний інтерес до можливості використання даного методу контролю, для розуміння роботи даного методу необхідно зазначити що він саме уявляє: оптичний волоконний датчик - це пристрій, який використовує оптичне волокно або як чутливий елемент для вимірювання параметрів («вбудовані датчики»), або як засіб передачі сигналів від віддаленого сенсора до електронного модуля для їх обробки («зовнішні датчики»). Їх вбудовують в сам композит для проведення вимірювань в місці стану затвердіння (полімеризації), в'язкості смоли та накопичення залишкової напруги в режимі реального часу під час виробництва.

Задіяні процедури обробки сигналів можуть, зрештою, стати основою для інтелектуальної обробки композитів (Roberts & Davidson, 1993). Методи, які досліджуються, включають датчики на основі показника заломлення, спектроскопічні датчики гасіння хвиль, а також інфрачервоні спектроскопічні датчики пропускання або відбиття.

Даними методом можливе виявлення деформації та пошкодження (моніторинг стану). Найпростіша форма оцінки пошкодження від удару базується на тому факті, що оптичні волокна зламуються і це відобразить пов'язане пошкодження, яке зазнають основні волокна, що несуть навантаження.

Більш чутливу оцінку присутності деформації або підвищення температури композиту можна отримати шляхом використання волокон, які мають решітки, вписані в їхні ядра, або дещо дешевші датчики, у яких зміни в довжині повітряного проміжку вимірюється інтерферометрією. Вони забезпечують засіб моніторингу деформації з високою точністю та роздільною здатністю. Їх також можна використовувати в режимі онлайн в місці розташування подій зіткнення, а їх роздільна здатність 0,5 мм і точність

вище 5 мм. Передбачаються окремі термічні ефекти розширення, а також пружна деформація, яку можна ізолювати. Датчики цього типу також можуть надавати інформацію про температурні зміни в матеріалі. Це можливо використовувати для контролю інтенсивності екзотермії затвердіння смоли, а отже якості готового продукту або виробу.

Мікрохвильові методи. Діелектрична проникність скловолокна набагато більша, ніж у смол (зв'язувальне) на мікрохвильових частотах, таким чином може бути використана будь-яка техніка для вимірювання середньої діелектричної проникності композиту і прийнятне задовільно корелює з вмістом скловолокна в матеріалі. Типовий інструмент складається з відкритого коаксіального резонатора, який можна застосувати до поверхні склопластику, щоб закрити резонанс (порожнина). По мірі того, як прилад переміщується по поверхні, відбувається зміна локального середнього вмісту скловолокна і вказується змінами резонансної частоти. Оскільки будь-який дефект, який впливає на мікрохвильову хвилю проникнення, також спричинить резонансний зсув, метод здатний стежити за погіршенням в структурі під навантаженням, якщо відома її діелектрична характеристика в непошкодженому стані.

Динамічний механічний аналіз. При постійному контролі напруги та деформації під час експлуатації, ми можемо очікувати, що зміни модуля пружності і виникнення неруйнівних ознак погіршення властивостей, спричинених накопиченням пошкоджень. Однак зміна жорсткості композиту в результаті циклювання залежить від типу композиту та ступеня безпосереднього навантаження на матрицю.

Вимірювання самого модуля за допомогою тензодатчиків або ультразвукового імпульсу швидкості може виявитися відносно нечутливим до змін у пошкодженому стані, хоча відносні зміни резонансної частоти та демпфіруючої здатності можуть дати більш тонкі ознаки накопичення пошкоджень. Якщо структуру можна змусити резонувати відтворюваним способом, її частотний спектр може бути швидко проаналізований для

встановлення їх характерного «звуку». Будь-яке пошкодження структури змінить цей характерний спектр у впізнаваний спосіб. Одним із найстаріших методів є принцип, втілений у тестері Фоккера, виробництва Wells-Krautkramer. Ця машина використовує датчики частоти, що генерують зсувні хвилі постійної амплітуди та порівнює відгук досліджуваного матеріалу з відповіддю стандарту, резонансна частота та амплітуда відгуку перетворювача записуються в контакт з еталоном і відзначаються будь-які зсуви, які відбуваються коли зонд згодом з'єднується з тестовим зразком.

Ці зсуви повинні бути відкалібровані за деякими відомими або вимірюваними властивостями. Техніка, може давати більш чутливі ознаки наявності дефектів, пустот, слабких зв'язків, пористості, розшарування, неправильні умови затвердіння, погане змочування та погане заповнення зазорів у з'єднаннях, ніж будь-які інші методи ультразвукового контролю.

Методи акустичної емісії. Будь-яка раптова структурна зміна в композиті, наприклад розтріскування смоли, руйнування волокон, швидке від'єднання, або між шарове розтріскування (роз'єднання), викликає розсіювання енергії у вигляді пружних хвиль напруги, які поширюються в усіх напрямках від джерела. Техніка виявлення такого акустичного випромінювання відповідна до системи перетворювача/підсилювача і метод триангуляції може використовуватися для визначення місцезнаходження дефектів великих конструкцій і виробів та їх оцінки.

Існує кілька способів аналізу інформації, отриманих шляхом моніторингу конструкцій під навантаженням, деякі з яких пропонують відповідні кількісні процедури для доказового тестування або прогнозування, а і деякі забезпечують глибше розуміння механізму накопичення пошкоджень у композитах.

РОЗДІЛ 2

ВИБІР ОБЛАДНАННЯ І МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДЕТАЛІ «ОБШИВКА СТАБІЛІЗАТОРА»

2.1 Аналіз та порівняння методів контролю

Технологія виготовлення виробу і його критичні аспекти у даній дипломній роботі розглянемо на прикладі деталі «Обшивка стабілізатору». Такі деталі мають трьох вимірну характеристику: довжину і ширину та висоту. Вони можуть бути вертикальними або горизонтальними. Вертикальні частіше за усе виготовляють у двох дзеркальних екземплярах, мають більший розмір та виготовляються у одному екземплярі на літальний агрегат, такі як для прикладу Мі-8, Мі-8МСБ-В, Мі-24, Су-25 та інші (рис. 2.1). Наявність певної кривизни конфігурації створює ряд труднощів для технології формоутворення, а також умов да цілісності конструкції, виготовлення додаткових підсилюючих елементів, збірки конструкції та фіксації елементів у труднодоступних місцях.



Рисунок 2.1 – Приклад стабілізатора в зборі, встановленого на винищувачі

Для виготовлення даного виробу необхідно зрозуміти та знати фактори, які будуть впливати при його експлуатації та мати реальні механічні і хімічні дані максимальних і мінімальних навантажень, а також умов середовища в яких буде використовуватися агрегат. Чинники використовуються для можливого підбору матеріалу, особливо при створенні нових типів і видів агрегатів, а також при їх модернізації.

2.2 Методи контролю просторових розмірів стабілізатору та композиційних матеріалів

Конструктором повинні бути задані конкретні розміри та допуски на них згідно діючих нормативних документів на дану галузь і бути враховані можливі їх зміни та аналіз факторів на які вони вплинуть. Розміри повинні бути задані від реальних баз на даному виробі, а не у теоретичному просторі і від не існуючих на даний момент деталей, також при заданні допусків на відхилення поверхні при її різності профілю у 3 координатній проекції повинні належати до виготовлення оснастки для виготовлення деталей у зв'язку із неможливістю реального контролю профільних і лінійних розмірів від не існуючих баз, що вплине на якість виготовлених деталей і зміні технологічного процесу виготовлення, буде впливати на якість композиційного матеріалу при додаванні нових можливих чинників для його псування та можливого втручання зайвих факторів, таких як волога, пил, температурні перепади та інші умови експлуатації.

Важливо враховувати, що будь-які зміни в розмірах чи їхніх допусках можуть вплинути на конструктивну цілісність і функціональність виробу. Особливо це стосується деталей, які є частиною багатосарових композиційних матеріалів, де точність геометрії визначає рівень напружень у матеріалі.

При проектуванні необхідно також передбачити використання інструментів для автоматизованого контролю параметрів, таких як 3D-сканери чи координатно-вимірвальна машина [20]. Ці системи дозволяють проводити постійний моніторинг розмірів та форми деталі, мінімізуючи ризики відхилень від заданих параметрів. Але при випуску остаточних технологічних параметрів та узгодженого креслення на даний виріб необхідно уникати контролю відхилень профілю скануванням або координатною-вимірвальною машиною та за можливості виконувати періодичний контроль шаблонами, цей перехід до деградації оптимізації контролю повинно бути виконано у зв'язку із великою кількістю затраченого часу на сканування порівняно і вимірюванням шаблоном згідно діаграми (рисунок 2.2).



синього кольору – 3D сканування , червоного - вимірювання шаблоном

Рисунок 2.2 – Порівняння часу при різних видах вимірювання

При виконання операції контролю профілю методом сканування і прикладання шаблону необхідно віднести декілька ключових аспектів, які впливають на якість і ефективність контролю: час виконання операції, повторюваність результатів, точність і деталізація, затрати на обладнання та обслуговування, обсяг виробництва [21].

Час виконання операції. При обрані необхідного методу необхідно врахувати, що контроль виробу за допомогою 3D-сканування потребує більше часу ніж шаблону. Тому на даному етапі краще зрозуміти чому саме новий метод програє вже доволі старому (використання шаблонів). Це виникає тому що потребує збір великих обсягів даних, їх обробку та аналіз, будуть входити нижче зазначені операції.

Сканування виробу, яке займає по собі витрачає багато часу у зв'язку із необхідністю повторення багаторазових дій і обхід усієї деталі тримаючи доволі важкий прилад. Автоматичне сканування в більшості випадків не виконується на даний час на виробництвах, що могло б спростити сканування складних за формою виробів.. Для даного етапу контролю виберемо пристосування для сканування MetraSCAN3D (рис. 2.3) фірми Creaform.



Рисунок 2.3 - MetraSCAN3D встановлений на роботі

Збереження файлу, виконується автоматично і не потребує додаткових зусиль так як виконується в один час із операцією сканування, але потребує втручання при переході від одної до іншої поверхні, що додатково збільшує час на сканування.

Порівняння відсканованої моделі(виробу) з математичною моделлю виробу. Це один із самих важливих і самих складних факторів із контролю профілю. При виконанні замірів шаблоном необхідно використовувати щупи різних розмірів (які можуть зіпсувати поверхню виробу), які відсутні при скануванні. При скануванні усе залежить від правильно підібраних баз на математичній моделі і відповідних баз на відсканованих моделях. Сума відхилень, при скануванні і позиціюванні накладається додатково до відхилень поверхні, тому наявний допуск на профіль зменшується тільки на етапі сканування. Існує як автоматичне порівняння в спеціальних програмах для цього, так і допомога штучного інтелекту, який тільки в 70-80% дає достовірну інформацію. Враховуючи, що виріб не є багатосерійним, та, як в нашому випадку, являється доволі відповідальною складовою літака, то довіряти скануванню без перевірки контролю просторових розмірів стає ненадійним. Тому його необхідно додатково перевірити, а перевірка деяких поверхонь можлива тільки шаблонами.

Відповідно вже на етапі порівняння стає зрозумілим, що використання сканування на даному етапі виробництва деталі стає доволі складним, не рентабельним і займає багато часу.

Аналіз сканування , відбувається програмою, так як вона вказує зони, які можливо поділити на спектр кольорів, що полегшить аналіз відхилень поверхні за наявним допуском на виріб. При виконанні сканування пристрій фіксує мільйони точок, створюючи тривимірну модель виробу, яка в подальшому обробляється спеціалізованим програмним забезпеченням. Програма аналізує дані сканування за допомогою алгоритмів і штучного інтелекту, порівнюючи їх з математичною моделлю. Проте, навіть на сучасному етапі розвитку технологій, виникають труднощі, пов'язані з точністю визначення відхилень. Окрім цього, використання кольорової шкали для візуалізації відхилень є зручним, але не завжди достатньо інформативним, особливо для складних або критичних деталей. Додатковий аналіз потребує ручної інтерпретації отриманих даних і врахування

можливих похибок, які виникають під час сканування, позиціювання або обробки моделі. На етапі перевірки часто виникає необхідність враховувати такі аспекти, як вплив зовнішніх факторів (наприклад, освітлення або якість нанесення захисного покриття), а також точність налаштування обладнання. Вирішення цих проблем вимагає участі висококваліфікованих спеціалістів і значних витрат часу та ресурсів. Загалом, сканування є перспективним методом контролю якості, але його впровадження в серійне або дрібносерійне виробництво залежить від конкретних вимог до точності, складності виробу та доступності ресурсів. У тих випадках, коли потрібна максимальна точність і відповідальність, комбінування сканування з традиційними методами контролю, такими як використання шаблонів або щупів, є оптимальним підходом [22].

Це може бути неприйнятно для серійного виробництва, де швидкість перевірки відіграє критичну роль. У той час, як шаблон дозволяє виконувати контроль набагато швидше завдяки простоті вимірювання.

Повторюваність результатів. Сканування може демонструвати певну варіативність у результатах, особливо при повторних перевірках одного й того ж профілю, через різні фактори, як от зміни умов освітлення, калібрування пристрою чи розташування виробу. Шаблон у цьому випадку забезпечує більш стабільні результати, оскільки механічний контакт із поверхнею мінімізує вплив зовнішніх умов, а також наявність можливості похибки при скануванні, де фактично вказані «точки» аномальної активності, які вказують не існуючі розміри, хоча це перевіряється візуально.

Точність і деталізація. 3D-сканери дозволяють отримувати детальну інформацію про геометрію поверхні, виявляючи навіть незначні дефекти чи відхилення. Це особливо важливо для відповідальних деталей. Однак у випадках, де допуски не є критичними, шаблон забезпечує достатню точність для прийняття рішення про відповідність виробу на даний час. Точність найновішого скану MetraSCAN BLACK+™ Elite складає 0,025 мм, об'ємна точність – 0,064 мм, помилка форми для сфери (у зв'язку із обраною

деталлю, стабілізатор) - 0,025 мм і також необхідно врахувати похибку на суміщення математичних моделей, яку візьмемо у діапазоні 0,025 мм. В результаті точність даного способу буде складати 0,14 мм, приймемо до уваги, що відхилення на посадочні поверхні стабілізатору та взагалі авіаційних деталей із композитів складає приблизно від 0,05 мм до 0,2 мм, і беручи відхилення на похибку виготовленої оправки на викладку деталі у діапазоні $\pm 0,05$ мм на сторону, наша деталь повинна бути виготовлена з точністю вище 10 мкм (0,01 мм). Відповідно прийняття даного методу за зверх точний при використанні контролю композиційних матеріалів, враховуючи їх шорсткість в районі Ra 3,2, що без механічної обробки, доволі проблематично і не завжди є функціональним, порівняно із прикладанням шаблону в якого є можливість відхилення поверхні не перебільшуючи 0,05 мм на увесь профіль, контроль посадових точок (контрольні місця для його фіксування і позиціювання на перерізі деталі), які будуть остаточно доведені шліфуванням та мати майже дзеркальне полірування.

Затрати на обладнання та обслуговування. Використання 3D-сканера вимагає не лише значних початкових інвестицій, але й регулярного обслуговування, калібрування та навчання персоналу. У порівнянні, шаблони є значно дешевшим і простішим у використанні інструментом, особливо для періодичних перевірок, так як їх затрати на виготовлення йдуть не із розрахунку закупівлі на інших фірмах, а виготовляються на самих підприємствах. Тому порівняння цих двох методів буде доцільним і можливим тільки при виготовленні великої кількості номенклатури, якою може похизуватися тільки дуже малий перелік підприємств.

Таким чином, при виборі методу контролю профілю слід враховувати характер виробництва, необхідну точність, економічну доцільність та вимоги до якості. Комбіноване використання обох методів - сканування для глибокого аналізу та шаблонів для оперативних перевірок дозволить досягти оптимального балансу між якістю та ефективністю при наявності великої номенклатури, але враховуючи доцільність використання даних методів при

виготовлені стабілізатору та його складових на серійному виробництві краще обрати метод прикладання шаблонів, а також зазначити у конструкторській документації необхідні перерізи для контролю, або зон (на радіусах заокруглення). При аналізі двох методів у сфері якості, метрологічного забезпечення, а також при економії часу слід обрати метод прикладання шаблонів, що забезпечить технологічність виготовлення, а також підвищить якість продукції, дозволить уникнути забракованих виробів.

Обрання метода неруйнівного контролю композиційних матеріалів. Обрання методу для контролю, аналізу і виявленню дефектів необхідно здійснювати з урахуванням властивостей матеріалу, умов експлуатації виробу та характеру можливих дефектів. Композиційні матеріали мають складну структуру, що включає волокна, матрицю та можливі міжфазні зони, тому вибір методів неруйнівного контролю повинен забезпечувати точне виявлення дефектів без пошкодження самого матеріалу.

Важливими критеріями є чутливість методу до внутрішніх дефектів (пори, тріщини, деламінації), можливість оцінки механічних властивостей та товщини шарів, а також здатність до перевірки виробів складної геометрії.

До найбільш поширених методів контролю композиційних матеріалів належать ультразвуковий, рентгенівський, термографічний та візуально-оптичний методи. Кожен із них має свої переваги та обмеження, які необхідно враховувати залежно від поставлених задач та специфіки об'єкта контролю.

Процес виробництва композитних матеріалів (препрегів) часто є ручним процесом і композит чутливий до різних дефектів. Відшарування, зламані волокна, включення, неправильне укладання, відсутні шари, тощо - можливі дефекти, які часто виникають під час виробництва [23]. Ці дефекти зменшують термін служби виробів, діючи як точки концентрації напруги в композиті [24]. При дослідженнях вчені спостерігали зниження міцності на розрив через наявність порожнеч. Щоб зв'язати локальну форму порожнечі з локальною концентрацією деформації дослідники використовували мікро-КТ

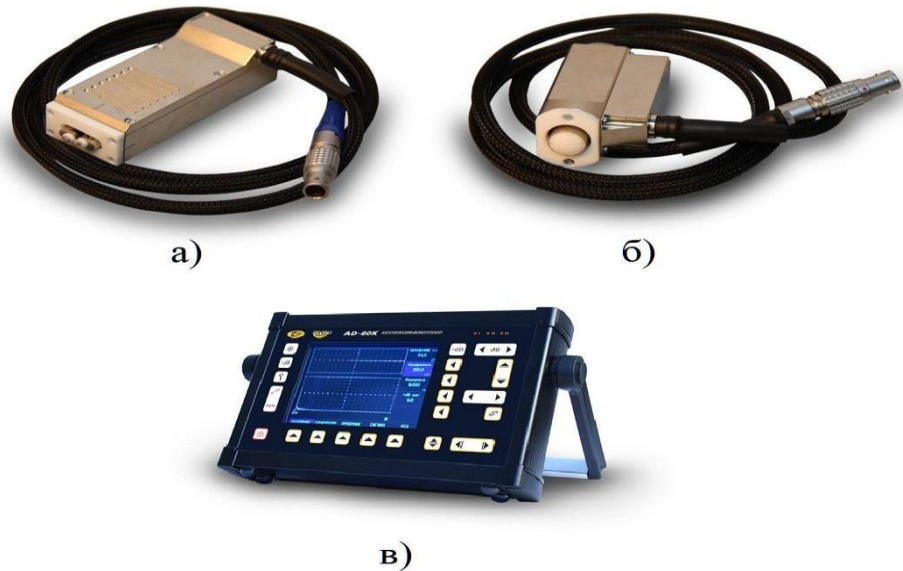
та моделювання для характеристики вмісту пустот і визначили зниження властивостей через ці дефекти [25, 26].

Потреба в більш безпечних композитних матеріалах, а також інші конструкційні та економічні вимоги потребують неруйнівні методи для ідентифікації дефектів, які зменшують навантаження на створення зразків свідків (зразки які були створені одночасно у тих же умовах, у яких було створено композит чи виріб на його основі і потребують додаткових розтрат на його виготовлення). Ця потреба обумовлена економічною доцільністю, яку можна частково пояснити широким впровадженням передових матеріалів, які вимагають менш руйнівних випробувань і більш неруйнівних методів через вартість деталей, а також перевірки безпеки, у таких галузях, як авіакосмічна промисловість, значної кількості людей та часу [26].

Кілька неруйнівних методів були досліджені на предмет їх здатності ідентифікувати сторонні об'єкти та відшарування в шаруватих композитах, включаючи ширографію, термографію, рентгенівську КТ, акустографію та ультразвук. Ультразвук є найпопулярнішим неруйнівним методом і особливо корисний завдяки своїй безпеці, мобільності, відносно низькій вартості та простоті використання [27, 28]. В даному випадку при створенні виробу «стабілізатор» цей метод може забезпечити можливий контроль на ділянках великої площини. Також для однорідності структури і типу скловолокна, на ділянках великих заокруглень необхідно буде використовувати імпедансний метод, тобто застосування текстолітового молотка для виявлення розшарування структури в ділянках не доступних до підводу та необхідного дотику перетворювача суміщеного або роздільно-суміщеного (рис.2.4) [28].

Бенаммар та автори вивчали використання методів обробки сигналів, щоб допомогти у виявленні відшарувань у армованих вуглецевим волокном композитах за допомогою ультразвуку [29]. Їм вдалося виявити глибину дефектів у межах 4% від фактичної глибини дефекту відразу за першою пластинкою та максимальну помилку 8% для глибини дефектів біля задньої стінки. Інші вчені представили метод ідентифікації сторонніх предметів у

ламініаті з вуглецевого волокна з використанням нечіткої логіки штучної нейронної мережі (ANN) для виявлення тефлонових включень [30].



а – перетворювач роздільно суміщений, б – перетворювач суміщений,
в – акустичний дефектоскоп

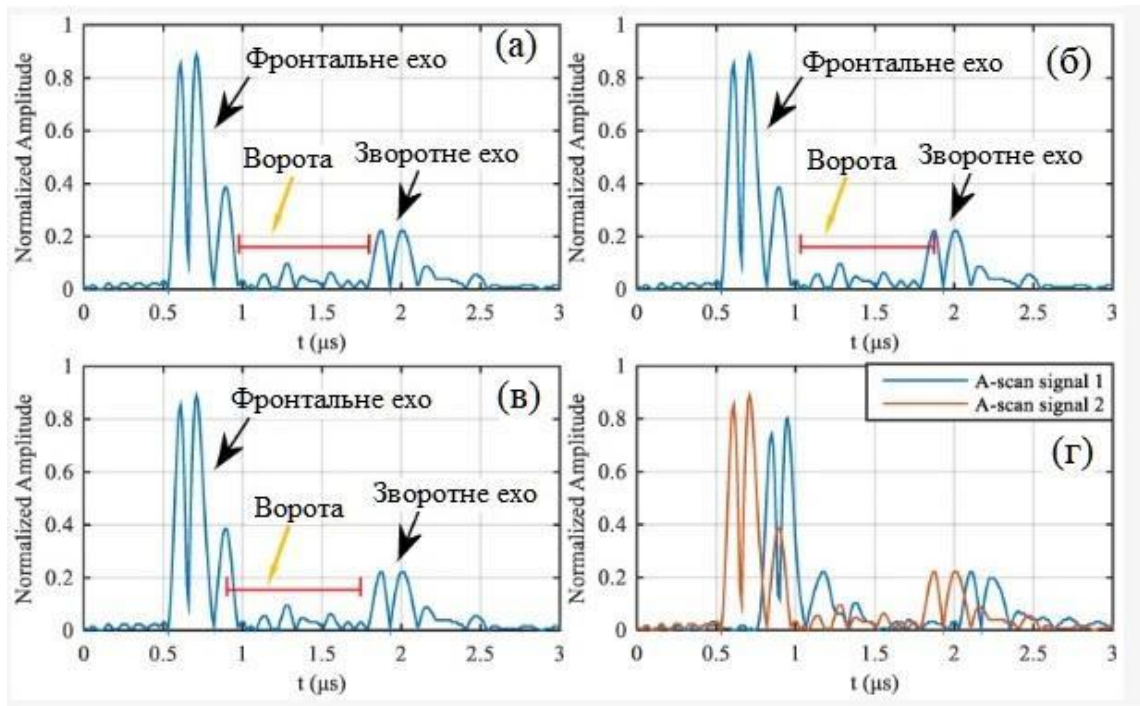
Рисунок 2.4 - Акустичний дефектоскоп AD-60K

Вони представляють результати для панелі з вуглепластику з дванадцятьма тефлоновими дефектами, визначають наявність і форму сторонніх предметів, але точність визначення розміру сторонніх предметів не надається. Дослідники Хасіотіс та інші мали на меті відстежити форму сторонніх об'єктів як у препрегу зі скловолокна, так і вуглецевого волокна, використовуючи дані ультразвукового сканування [31]. Форму дефектів вдалося ідентифікувати, але розмір був значно завищений у препрегу з вуглецевого волокна, що не вплине на наш контроль у зв'язку із використанням склопластика замість вуглепластика.

Ультразвукова технологія С-сканування широко використовується в багатьох областях неруйнівного контролю для виявлення дефектів. Вихідний сигнал, отриманий із картки ультразвукового сканування, являє собою набір сигналів А-сканування, з яких кожен сигнал відповідає положенню

виявлення та містить інформацію про дефект. Ультразвукове С-сканування використовує амплітуду або «час польоту» у сигналі А-сканування для створення двовимірного зображення.

У класичному ультразвуковому С-скануванні, яке використовується, ворота містять три змінні, а саме - початкову точку, довжину та поріг. Початкова точка та довжина визначають місце для перевірки. Якщо в діапазоні воріт є ехо-сигнал, який перевищує поріг, вважається, що тут є дефект. Наприклад, при виявленні внутрішніх дефектів у препрегу «затвор» зазвичай розміщується між переднім ехо-сигналом (відбивається на верхній поверхні препрегу) і заднім ехо-сигналом (відбивається на нижній поверхні ламінату) (рисунок 2,5 а). Якщо затвор встановлено надто праворуч або надто ліворуч, гейт виявить зворотні або передні відлуння як дефект (див. рис. 2.5 б, в). На діаграмах ультразвукові сигнали А-сканування показані в різних положеннях при одному скануванні, що відображає часовий зсув сигналів. Усі сигнали отримані шляхом повно хвильового випрямлення з ультразвукових сигналів А-сканування. Тому, щоб зменшити вплив переднього та зворотного відлуння, довжина воріт зазвичай встановлюється меншою за глибину препрегу. Як наслідок, класичним ультразвуковим методом С-сканування важко виявити приповерхневі дефекти, крім того, через незначну зміну відстані між ультразвуковим перетворювачем і препрегом є можливість зміщення часу сигналу, положення воріт, яке потрібно регулювати в реальному часі, як показано на рисунку 2.5, г. У традиційному ультразвуковому С-скануванні вищезазначена проблема вирішується шляхом відстеження піку переднього ехо-сигналу та підтримки постійної відносної відстані між воротами та піком переднього ехо-сигналу. Тому необхідно відстежувати пік сигналу. Однак через вплив шуму відстеження сигналу часто має помилки, так що положення воріт не може бути в правильному положенні.



а - правильний затвор, б - надто правий, в - надто лівий,
г - реальний час сканування

Рисунок 2.5 - Ультразвукові сигнали А-сканування

В своїй роботі вважаю, що різні відлуння в сигналах ультразвукового А-сканування є некорельованими та незалежними змінними в часовій області. Таким чином, автокореляцію можна використовувати для обробки ультразвукового сигналу А-сканування. Автокореляцію можна розглядати як взаємну кореляцію сигналу з самим собою.

Традиційний ультразвуковий метод С-сканування потребує відстеження піку сигналу та складного налаштування воріт. Запропонований алгоритм може уникнути цих двох проблем. З одного боку, без використання вентилі алгоритм може класифікувати дефектні та недефектні сигнали за евклідовою відстанню між автокореляцією опорного сигналу та сигналами, які необхідно класифікувати. Таким чином, налаштування воріт уникають, і оператор може проводити ультразвукове тестування за запропонованим алгоритмом з меншими попередніми значеннями. З іншого боку, ефективний сигнал в ультразвуковому скануванні А починається від переднього ехо-

сигналу, і його початкове положення не фіксується через часовий зсув сигналу. Однак після розрахунку автокореляції ефективна область автокореляції фіксується і починається з нуля. Тому відстеження піків сигналу уникають. Більш того, при розрахунку глибини дефекту в запропонованому методі використовується абсолютне положення піку дефекту замість використання відносної відстані між переднім ехо-сигналом і ехо-сигналом дефекту, ніж як у традиційному ультразвуковому С-скані, що робить розрахунок більш зручним.

При обрані метода неруйнівного контролю композиційних матеріалів в роботі оптимальними були визначені ультразвуковий метод та поєднання із імпедансним, використано прибор для ультразвукового контролю AD-60K, який може поєднувати обидва методи, а також додатково уточнено технологію за якою буде використано алгоритм кореляції сигналу А-сканування [32].

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1 Вибір матеріалів та методів виробництва

Характеристика композиційних матеріалів. Для даного дослідження впливу технологічних факторів на якість композиційних матеріалів було використано композиційний матеріал Gurit PN-900-68-43 зі використанням склотканини 7781 сатинового плетіння (щільність 296 г/м²). Відповідно для більшості препрегів, які використовують схоже плетіння, а також даний матеріал дозволяється використовувати виріб при температурах від -55°C до +200°C, що відповідає вимогам до високоякісних композиційних матеріалів, які застосовуються у авіаційній галузі. Цей препрег забезпечує високу механічну міцність і термостійкість, дозволяючи використовувати вироби в умовах критичних температурних перепадів. Завдяки сатиновому плетінню склотканини 7781 забезпечується рівномірний розподіл напружень у структурі виробу, що мінімізує ймовірність утворення тріщин чи інших дефектів.

Додатково хімічний склад препрега включає високомолекулярні зв'язувальні компоненти, що забезпечують стійкість до впливу вологи, ультрафіолетового випромінювання та хімічних реагентів (табл. 3.1). Це робить матеріал універсальним для застосування в авіації, суднобудуванні та енергетиці. Така характеристика дозволяє оцінити вплив технологічних факторів на якість кінцевого виробу та ефективність виробничих процесів.

Технологічні методи виготовлення. Для виготовлення даної деталі (обшивка стабілізатора) ми використали формування на оправці як метод який забезпечує необхідні вимоги до поверхні деталі, а також як один із можливих при виготовленні великогабаритних і складних форм.

Таблиця 3.1- Характеристика препрега PN 900-68-43

Фізико-хімічні характеристики препрега			
Поверхнева щільність препрега г/м ³	Зміст сполучного, % (EN 2331)	Зміст летучих, % (EN 2330, 180°C/10 хв)	Плинність смоли, % (EN 2332, 140°C/10 хв, 4 бар)
520±10	43±3	Менше 1,0	Більше 10

Необхідно зазначити, що в більшості випадків для деталей по типу: обшивки, закінцівки, та тонких і великих за площею, де відсутні потреби у витриманні однакової шорсткості поверхні, виникає можливість використання оправки або пластини для набору шарів препрегу матеріалу без необхідності використання матриці складної за формою, а також збільшення витрат на підготовку виробництва. Дані фактори надають можливості невеликим підприємствам і фірмам опанувати раніше недоступні галузі у авіації, а великим - полегшити опанування різнопланових виробів із композиційних матеріалів та збільшити номенклатуру при доволі невеликих затратах за умов великої кількості випускаємої продукції. Тому в роботі було використано саме метод формування на оправці, а не більш складний як при використанні матриці.

Виготовлена оправка була із алюмінію який гарно себе зарекомендував у створенні виробів із композиційних матеріалів і надає низьку переваг порівняно з іншими матеріалами для матриць, оправок і прес форм. Це по-перше його корозійна стійкість, а також теплопровідність.

При виготовленні габаритних деталей вага оправки для викладки, де використовується ручна праця, маса деталей при збірці або викладці повинна бути якомога менше, що забезпечить більше безпеки при виробництві, а також точність і якість, які можливо забезпечити за наявності більшої рухливості при виготовленні складних деталей, можливість встановлення матриць і оправок у печі, у яких є обмеження за масою для забезпечення рівномірного нагріву. Також на це вплине на об'єм та товщину стінок, але

сам виріб за даними умовами забезпечить тонкостінність оправки. За такими умовами до нагріву необхідно заздалегідь обирати технологію формування і подальшої полімеризації виробу.

Забезпечення необхідної структури і форми неможливо без додаткового тиску при полімеризації композиційного матеріалу, що при його відсутності викликає одні із самих розповсюджених проблем - розшарування і втрата початкової форми. Для уникнення даних дефектів було застосовано вакуумування, яке є важливим етапом для забезпечення високої якості композиційного виробу. Цей метод передбачає використання вакуумного середовища для видалення залишкового повітря, створення щільного контакту між шарами та запобігання утворенню дефектів у структурі матеріалу, при забезпеченні тиску у 0,085...0,9 МПа відносно потреб. Це дозволяє усунути навіть найменші повітряні включення між шарами препрегу, що критично важливо для забезпечення однорідності матеріалу та його механічних властивостей.

При дотриманні даного тиску вакуумування сприяє зменшенню кількості пор у матеріалі, що суттєво впливає на його стійкість до механічних навантажень та температурних змін. Крім того, рівномірний контакт між шарами запобігає можливому розшаруванню матеріалу під час експлуатації виробу.

При завершенні вакуумування було перевірено наступні параметри:

- перевірена герметичність вакуумного пакету за допомогою вакуумного манометру, що дозволяє виключити ризик втрати вакууму під час полімеризації, а відповідно покращить якість виготовленого виробу;
- тривалість вакуумування (процес складав 10...15 хв з подальшою перевіркою на падіння тиску у системі - вакуумному пакеті);
- після переміщення до печі і підключення до її вакуумної системи було повторно перевірення тиску.

Для виготовлення цього виробу використовувалась випукла форма. Оскільки процес полімеризації відбувався за підвищених температур,

важливо було забезпечити схожість коефіцієнтів температурного розширення композиційного матеріалу і оправки.

3.2 Етапи виробництва обшивки стабілізатора

Підготовка матеріалів. Для обраного композиційного матеріалу Gurit PN 900-68-43 відсутня необхідність у додані додаткових операцій, таких як просушування тканини, приготування зв'язувального, просочення тканини. Для забезпечення технологічності і зменшення виникнення додаткових факторів які можуть вплинути на якість виготовленої продукції, складність та додаткові витрати при створенні препрегу, було вирішено використати готовий матеріалу виробництва фірми Gurit. Склотканина, а також зв'язувальне було виготовлено та оброблено за необхідними технічними вимогами для даних матеріалів на обладнанні, яке було створено спеціально для даних потреб, а також дотримання співвідношення компонентів.

Тому в порівнянні із обранням схожих матеріалів, але окремих компонентів і необхідності виготовлення препрегу, ми одночасно усунули три фактори які можуть вплинути на якість виготовлених виробів і зменшили ризики при виробництві стабілізатору.

При розкроюванні тканин було використано планшетний плотер для автоматичного розкрою шарів заготовки у зв'язку з їх великою площею та необхідністю виготовлення складної форми різання, що дозволяє уникнути людського фактору при різання. Туди входить якість різу (складки матеріалу, пошкоджені нитки, повторні дорізи і збіги), точність та збереження необхідних розмірів розкрою, а також необхідні припуски. Також слід зазначити, що був використаний плотер із підключеним вакуумним

обладнанням, так як без наявного вакуумного тиску при різанні, виникає можливість утворення складок або недорізів матеріалу.

При обранні даного методу ми покращили якість заготовки та зменшили шкідливі фактори, які впливають в процесі виготовлення деталей. При обранні методу ручного розкрою додатково було введено розмітку препрегу виконану на робочому столі з використанням лінійки, косинців, лазера або шаблонів, маркеру. Виготовлення шаблонів для розкрою допускається із сталюого листа, а для розмітки із алюмінієвого листа товщиною від 1 мм до 1,5 мм. Шаблони а інші засоби для виготовлення при ручному розкрою і розмітці, особливо ті, які контактують із препрегом, повинні бути покриті розділовою змазкою типу Loctite Frekote 770 NC або її аналогами. Після закінчення робіт поверхні повинні бути очищені від залишків зв'язувального за допомогою серветок змоченими ацетоном.

Враховуючи, що для продукції, особливо у сфері авіабудування, необхідна висока якість було обрано метод розкроювання саме на плотері, а не ручний. Розкроювання було виконано після аналізу креслення готової обшивки стабілізатору (рис. 3.1) і створено модель розкрою (рис. 3.2, 3.3).

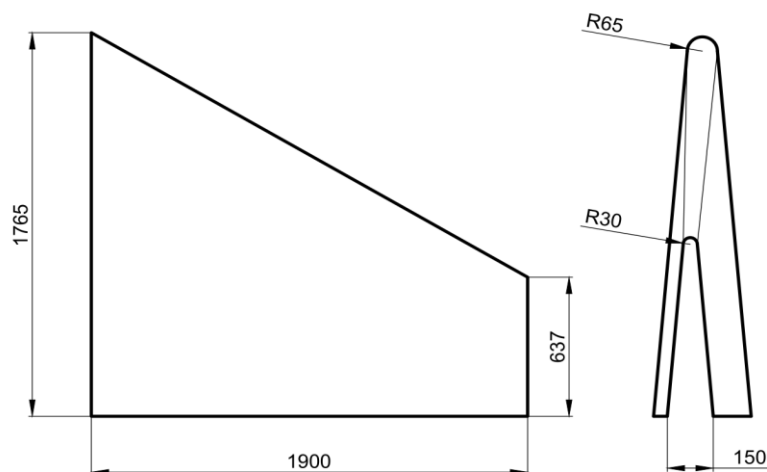
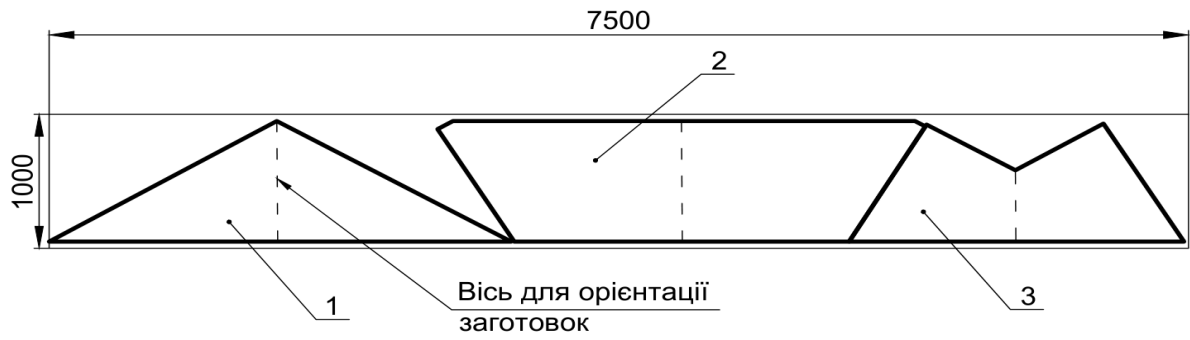
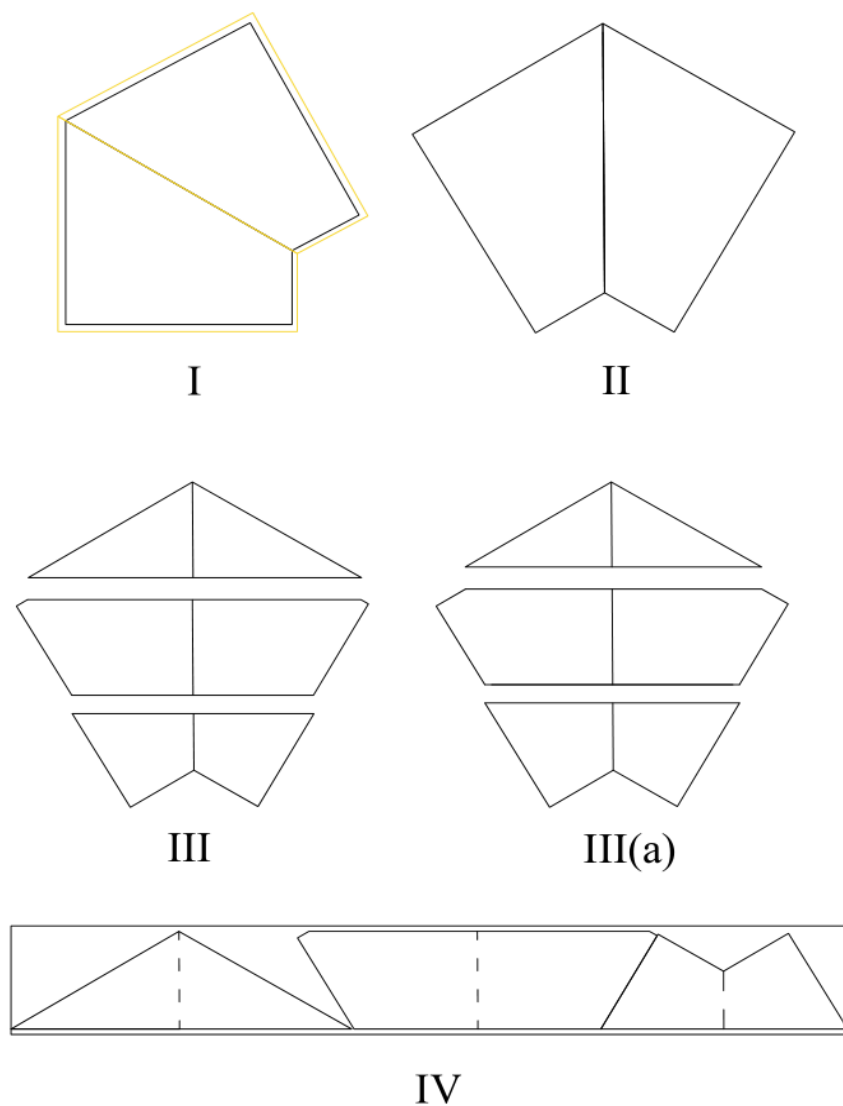


Рисунок 3.1 - Креслення обшивки стабілізатору



1, 2, 3 - заготовки одного шару

Рисунок 3.2 - Креслення розкрою на листі препрегу Gurit PN 900-68-43



I, II, III, IV - етапи проектування розкрою

Рисунок 3.3 - Поетапне виготовлення креслення розкрою

Виконання розкрою полягає в розробці креслення, а також розрахунків габаритів, припусків, розташування заготовок на листі, аналізу можливостей виконання даної операції та визначення обладнання для виконання операції і складалося із трьох етапів.

Перший етап - це обрання припуску на сторону деталі при викладанні шарів матеріалу на оправку. Для таких габаритів, але простоти форми було обрано 50 мм на сторону для визначення основних габаритів заготовки. Також це дозволить виконання подальшого нахльосту який складає 20...25 мм. Заготовка була збільшена у масштабі, що дозволило рівномірно розташувати припуск, а також порівняли отримані результати у графічній програмі для перевірки виконання умов (див. рис. 3.3, I).

Другий етап складався із визначення розташування листів заготовки на препрегу, в який ввійшло обрання необхідного нахилу відносно його осі та поділення для виготовлення обшивці стабілізатору, аналіз виду, а також розміру заготовок і визначення необхідного припуску на позиціювання та урахування нахльосту. В даному випадку ширина препрегу, який постачається у рулонах складає 1000 мм (див. рис. 3.2), тобто заготовки повинні не перевищувати даний розмір, а також бути виготовленні з урахування припусків для позиціювання листа на вакуумному столі плотеру. Для даної довжини розкрою, яка склала 7500 мм, ми обрали припуск на сторону 50 мм, тобто усі заготовки повинні бути не більше 900 мм у ширину.

Для виконання розташування заготовки, а також її розкрої було визначено максимальну ширину та кількість розрізів і їх розташування, яке краще виконувати більш рівномірно або у місцях найменших навантажень. Особливо необхідно зауважити, що для уникнення слабкої ділянки у місцях стикування заготовок між собою у наступному моношарі, нахлест необхідно змінювати за розташуванням. Відповідно до цього був утворен другий розкрій (див. рис. 3.3 III(a)).

Третій етап включає у себе остаточне розташування на листі препрегу нашого розкрою (див. рис. 3,2). На даному етапі необхідно було урахувати

наші припуски у вигляді 50 мм на сторону, максимальну довжину нашого столу при розкрою (вона склала 12000 мм, що задовольняє розташуванню 3 заготовок одного шару на столі, але навіть при менших габаритах, можливе роздільне розкроювання). При розміщенні листів було виконано розташування у притик, що дозволило зменшити довжину ходу леза, та повторення його рухів, збереження часу (враховується при розкрою, так як час знаходження на повітрі за режимами зберігання препрегу значно коротший, ніж у морозильній камері). Використання плотеру, а не ручної праці забезпечує нам дорогоцінний час з годин на хвилини при розкрої.

Підготовка матриці належить до одного із відповідальних факторів, який може суттєво вплинути на поверхню та форму виробу. Також необхідно розуміти, що виготовлення однієї оправки, або матриці набагато дорожче ніж деталі в багатьох випадках і її пошкодження у зв'язку із невиконанням вимог до підготовки поверхні, особливо у випадках, коли оправки виготовлені із композиційних або пористих матеріалів, може суттєво збільшити їх зношення. Тому перед початком підготовки робочої поверхні матриці необхідно було виконати деякі операції:

- перевірити загальний стан і комплектність оправки на відповідність до креслення;
- зачистити й видалити з робочої поверхні і інших елементів оправки зв'язувального, клею, герметичного джгута і інших забруднень;
- заземлити форму, знежирити поверхню оснастки нефрасом, потім ацетоном, а також просушити після кожного знежирювання 10...15 хв;
- нанести на оправку роздільне покриття Frekote 770 NC або Frekote 700 NC, що збереже поверхню оправки від налипання зв'язувального.

Так як нанесення антиадгезійної рідини відбувалося перший раз, то необхідно було нанести на форму 2...3 шари роздільної рідини Frekote 770NC з витримкою 10...15 хвилин після кожного нанесення шару для випаровування розчинника. Перед нанесенням наступного шару поверхня була сухою і не липкою на дотик. Якщо б цього не відбулося, необхідно було

б повторити операцію, інакше була б можливість не зняття деталі з оправки та пошкодження матриці. Цьому етапу необхідно приділити особливу увагу, особливо при використанні неметалевих оснасток, так як при пошкодженні їх поверхні вони почнуть розкришуватися з кожним використанням, і їх відновлення в багатьох випадках не допоможе. Розхід антиадгезійної рідини був у межах 50...100 г/м² на один шар, що відповідає його технічним вимогам. Нанесення антиадгезійних рідин вибраної марки Frekote, виконувалися при температурі повітря 15°...30°С і відносної вологості повітря не більше 75%.

Дане нанесення в декілька шарів при першому використанні дозволило виконати не менше 3-х знімачь без відновлення покриття, але при подальшому використанні необхідно було наносити повторно кожен раз один шар рідини. Також існують і інші методи захисту поверхні оснастки, але був використано найефективніший, та перевірений на практиці.

Викладання препрегу та формування. Виготовлення деталі із композиту уявляє собою «монолітну конструкцію». Виготовлення в даному випадку обшивки стабілізатора, тобто багатошарової конструкції методом ручної викладки препрегу включало у себе наступні операції:

- пошарову викладку шарів препрегу на формувальну поверхню оправки;
- підготовку викладеного пакету к вакуумному формуванню.

Викладку заготовок препрегу виконували на формувальну поверхню зі зміною заготовок розкрою (відповідно до попереднього розділу), а також вакуумуванням першого шару препрега.

Перед викладкою зняли захисний шар розділової плівки препрегу і виклали її на форму з нахлестом у 20...25 мм на кожен лист, а також відповідно до форми оснастки, витримали осьову лінію (див. рис.3.2). Також необхідно виключати складки при викладанні та розправлення препрегу, в деяких випадках та крутих переходах, необхідно розрізати матеріал та виконати його нахлест, але нахлест не допускається в наступному моношарі

на тому ж місці, для виконання міцного та щільного притиснення першого шару препрегу що і є початком викладки і формоутворення відповідної поверхні. Тому було використане допоміжне вакуумування, що дозволило зменшити наступні дефекти у вигляді майбутніх складок (після полімеризації).

При невикладені усіх шарів препрегу за одну зміну було застосоване вакуумування, що дає захист від потрапляння будь яких забруднень, а також збереження форми і додаткове пресування, яке можливе завдяки допустимій викладки у межах які не перебільшують 72 год. І це не враховуючи від 15 до 30 днів збереження препрегу до його початку само полімеризації. Але у зв'язку із підтриманням вакууму, а також іншими чинниками, краще не перевищувати 6 діб (144 години) від початку викладання до остаточної полімеризації (деякі матеріали полімеризуються по два і більше разів за різними режимами, щось схоже на відпал та подальше відпускання сталей та сплавів у механічній обробці).

При викладанні остаточного шару препрегу виконали вакуумування, що завершує остаточний процес формування та закладає остаточні умови до форми виготовленої деталі, і яка впливає не тільки на якість притискання, а й на утворення дефектів структури форми і деякі додаткові чинники. Підготовка вакуумного пакету к вакуумному формуванню включає у себе схему зборки пакету для вакуумного формування:

- укладання роздільної перфорованої плівки, яку ми замінили на жертовну тканина у зв'язку із неможливістю зняття розділової плівки з наявною перфорацією з деталі (зв'язувальне проникає у пори та не дає без механічної обробки видалити плівку, тому укладка роздільної плівки була поверх жертовної тканини);
- укладання поглинаючого дренажного шару;
- прокладання герметизуючого джгута по контуру оправки і набраного вакуумного пакету;

- встановлення вакуумної плівки і кріплення вакуумного штуцера (приблизно один штуцер на 1 м^2). Одна сторона нашої деталі займає приблизну площу у $2,3 \text{ м}^2$, тобто було використано 4 штуцери у сумі, рівно розташовані на площі деталі.

Викладання роздільної плівки поверх набраного пакету шарів препрегу і інших складових вакуумного пакету були виконані таким чином, щоб складові виступали за контур шарів препрегу на $50 \dots 60 \text{ мм}$, в при стикуванні плівок був нахлест у $10 \dots 20 \text{ мм}$. Стикування вакуумної плівки були виконані за допомогою дренажного джгута. Для покращення розрядження тиску у вакуумному пакеті по краю пакету, в місцях перегину контуру на гострих кромках і різких перегинів були викладені додаткові валики із дренажної тканини, що також буде сприяти збереженню вакуумної плівки і можливості повторного виготовлення деталі, без її заміни.

Також перед викладанням вакуумного джгута необхідно було знежири поверхні нефрасом (бензином) і витримати не менше 30 хвилин.

Вакуумування та полімеризація і умови вакуумування. Після приєднання вакуумного мішку к оправці і перед формуванням пакету необхідно перевірити герметичність вакуумного пакету, для чого було виконано:

- під'єднання оправки к вакуумній мережі через під'єднання до штуцерів;
- утворення під вакуумним мішком розрядження не менш ніж $0,085 \text{ МПа}$ і утримання його від 5 до 10 хвилин;
- перевірка герметичності вакуумного мішку на слух (при наявності отворів, або нещільного з'єднання вакуумного мішку із герметизуючим джгутом буде чути свист з близької відстані, а також можливо відчутти це явище за коливанням повітря і його температурою - вона буде низькою порівняно з іншими місцями).

При наявності негерметичності необхідно було б їх ліквідувати методом лікування, нанесення додаткових латок, або заміни джгута в деяких

місцях. Це зменшить витрати на розхідники та пришвидшить збирання вакуумного пакету. Після перевірки тиску у системі на відсутність його зменшення, необхідно відключити його від системи. Якщо тиск за 3...5 хвилин впаде не більш ніж на 0,01 МПа, то вакуумний мішок буде вважатися герметичним. Після вакуумування оправка з вакуумним пакетом та наявним розрядженням у не менш ніж 0,085 МПа була передана на формування у електропіч.

Особливості формування (полімеризації) деталі у електропечі. Оснастка із підготовленим к формуванню викладеним пакетом розташовувалася у вакуумній печі, та підключається к вакуумній системі печі, для підтримки тиску у системі при зміні температури та зменшення фактору пошкодження вакуумного пакету, що забезпечило наявний тиск у відповідному значенні при полімеризації і зменшило фактори, які могли б вплинути на розшарування шарів препрегу. Необхідно було ввімкнути вакуумний насос та перевірити герметичність пакету, щоб уникнути його пошкоджень під час транспортування, тим паче для такої масивної конструкції.

Для контролю температури деталі встановлювалася термопара на вакуумний мішок (не менше однієї на 2 метри довжини деталі) і закріплювалася одним шаром герметичного джгута, таким чином щоб джгут закривав кінець термопари.

Далі необхідно було закрити електропіч при ввімкненому вакуумному насосі, та виконати формування деталей за наступними режимам які залежали від обраного композиційного матеріалу:

- утворити вакуум не менш ніж 0,085 МПа;
- підняти температуру до $135 \pm 5^{\circ}\text{C}$ зі швидкістю не більш ніж $1^{\circ}\text{C}/\text{хв}$;
- витримати не менш 70 хвилин для рівномірного прогріву та утворення необхідних зв'язків у зв'язувальному;

- охолодити до температури $55\pm 5^{\circ}\text{C}$ зі швидкістю не більш $4^{\circ}\text{C}/\text{хв}$, для уникнення дуже швидкого переохолодження.

Далі для остаточного затвердіння зв'язувального був розібран вакуумний пакет, знята деталь з оснастки (за допомогою неметалевих шкребків), відправлена деталь в електропіч. Процес полімеризації відбувався за режимами:

- підняття температури до $180\pm 5^{\circ}\text{C}$ зі швидкістю не більш $1^{\circ}\text{C}/\text{хв}$;
- витримка не менш 120 хв;
- підняття температури до $220\pm 5^{\circ}\text{C}$ зі швидкістю не більш $1^{\circ}\text{C}/\text{хв}$;
- витримка не менш 120 хв;
- охолодження до температури $55\pm 5^{\circ}\text{C}$ зі швидкістю не більш $4^{\circ}\text{C}/\text{хв}$.

При формоутворенні (полімеризації) деталі у печі необхідно було контролювати температуру, тиск, час витримки та швидкість охолодження по показниках стаціонарних реєструючих пристроїв типу самописців, для перевірки умов виконання операції формоутворення (для подальшого аналізу при можливих дефектах на деталях, або дефектах утворених при експлуатації).

Після полімеризації виконали механічну обробку деталі, обрізали по периметру припуск, залишивши напуск на підгонку розмірів.

3.3 Аналіз дефектів у обшивці стабілізатора при його виготовленні

Дефекти форми. При першому контролі наявні дефекти у обшивці стабілізатора стикнулися із утвореними складками випуклої форми (рис. 3.4).

Складки виявилися при візуальному контролі та проявили себе на етапі першого етапу полімеризації на матриці у вигляді випуклостей відчутних на дотик та маючих той ж колір та структуру волокон відносно іншої поверхні

деталі. При наявних опуклостях на одній поверхні слід чекати випуклостей на протилежній (внутрішня поверхня обшивки), але при огляді було виявлено відсутність будь яких змін форми, крім зміни кольору в місцях складок відповідно до їх поверхні. Ширина складок дорівнювала від 5,5 мм до 0,5 і менше, а довжина їх складала від 1500 мм до 5 мм. Утворені складки мали форму стрічок без розгалужень, та без пересічення один одною. Найбільші за розмірами були розташовані у місці радіусу та паралельно йому, менші складки були здебільш на краях деталі та мали невеликі розміри але велику кількість. При наявних складках на бічних поверхнях складки мали середні і малі розміри, а також напрямок руху більш діагональний, що прагне до радіусу деталі.

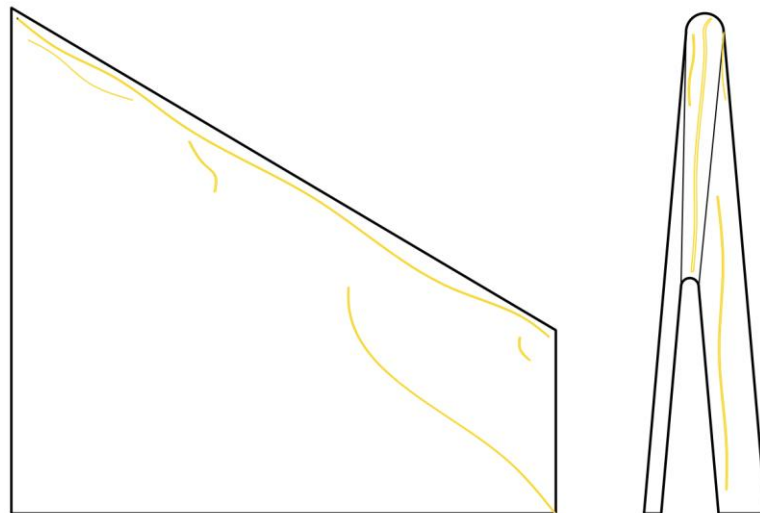


Рисунок 3.4 - Схема складок, утворених після формоутворення (полімеризації)

Висота складок була більша за товщину деталі, що вказувала на перенасичення зв'язувальним у цих місцях, так як проявлена структура волокон, що мала білий колір, сприяла як раз його відсутності. Але враховуючи, що їх утворення було хаотичним, а також, що кількість зв'язувального за наявними режимами полімеризації повинні були

рівномірно розподілити його на усій поверхні, вказували на локальні місця напруги.

Дані дефекти при перевірці неруйнівними методами з внутрішньої сторони вказали на відсутність пор та зайвих забруднень. Також відсутні були дефекти розшарування на усій поверхні деталі. Після неруйнівних методів, були виконані дослідження залишків матеріалу після відрізання припусків на краях деталі, які залишилися після обрізання припусків і на яких також були наявні складки.

Розрізи показали (рис. 3.5), що структура має нерівномірний ріст складок, який існує не на усій площині і товщині деталі та свідчить скоріш за все про перенасичення зв'язувального в місцях виникнення дефектів. Що вплинуло і на структуру армуючої складової на останніх шарах препрегу.

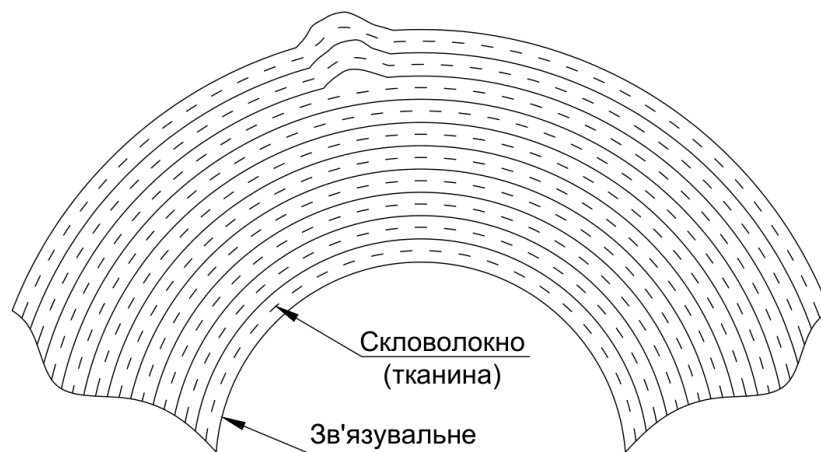


Рисунок 3.5 - Схема утворених складок на радіусах деталі

При аналізі даних дефектів та пошуку схожих випадків були виявлені схожості при виготовленні деталей з великим перегинанням або малими радіусами порівняно із площею деталей. Щоб перевірити повторюваність даного дефекту, а також зменшення його утворення для проведення експерименту було виготовлено 7 зразків з різними технологіями виготовлення вакуумного пакету. Було змінено склад вакуумного пакету,

який впливає на форму поверхні, а також було підтверджено вплив вакуумного пакету на утворення дефектів тим, що при спробі заміни дренажну тканину, яка можливо впливала на стягування зв'язувального із препрегу на склотканину T-10-14, у кількості 2 шарів були зміни у структурі дефектів.

При заміні дренажу було використано склотканину T-10-14 у кількості двох шарів, що викликано можливістю зменшення видалення зв'язувального, що вибирається та відводиться для утворення рівномірної товщини деталі. При використанні даної заміни без зміни технології виготовлення деталі було виготовлено деталь, на якій були відсутні великі складки, але було при збільшенні наявного зв'язувального відповідно і збільшилась маса деталі, що перевищила допуск на масу зазначеної на кресленні, приблизно на 25% . Ці фактори більше порушують задані умови до даної деталі ніж наявні складки у при поверхневих шарах.

Для 3 зразку було використано 3 шари склотканини T-10-14, без інших змін які вплинули на товщину деталі, зменшили або сприяли майже відсутності великих складок, але були в наявності малі складки по краям деталі. Зразок 4 було витримано сутки для проникнення сполучного у жертвовну тканину з її наступним змінням на іншу відповідну, але непросочену, а також використано 2 шари склотканини, для фіксації яких використовувався клейкий спрей (на третьому зразку було використано термостійку липку стрічку). На 4 зразку було використано огортання усєї форми у вакуумний пакет, що могло розподілити тиск на більшу площу та більш рівномірно розрядити форму. Останні 6 і 7 зразки були більше для повторюваності експерименту, та не відрізнялися від 3-ї спроби.

На 3 зразку було збережено товщину деталі, а також вдалося уникнути великих складок і відповідно втрати зв'язувального на внутрішній поверхні деталі, але залишились невеликі складки на зовнішній поверхні обшивки. На 4 зразку було визначено, що утворення складок виникає саме на етапі вакуумування і утворюються вони на великих перепадах поверхні, які

виникають на радіусах та заокругленнях, так як зв'язувальне починало утворювати форму складок, але склотканина залишилась ще тієї ж форми. В даному випадку було залишено складки та виконано фотофіксацію їх розташування для порівняння із майбутніми складками на полімеризованій деталі, та їх подальший ріст. Як було далі визначено, тільки приблизне розташування їх збіглося, можливо що зміна умов їх утворення спричинило інше розташування та розміри, але зберігало місця (радіус деталі). Також необхідно зазначити, що кількість і розміри складок збільшились, а також змінили місця розташування. На п'ятому зразку було виконано вакуумування відповідно до 3 спроби, але за умови обгортання усієї оправки, що дало такі ж самі результати як і на 3 спробі, тобто об'єм вакуумного пакету та зміна зон розташування штуцерів, майже не вплинули на зміну отриманої поверхні, що може тільки збільшити розхід матеріалів, та спричинити кількість можливих факторів для пошкодження вакуумного пакету.

При проведенні експериментів, для визначення умов до утворення складок, та можливі фактори їх зменшення, було оптимально використано технологію за 3 спробою, що надає збереження розходу матеріалу, а також збереження товщини, зменшення дефектів у вигляді складок на зовнішній поверхні, а відповідно і зменшення дефектів у вигляді недоліку зв'язувального.

3.4 Методи усунення дефектів, утворених на деталях при проведенні експериментів

Виправлення залишкових дефектів при формуванні композиційних матеріалів. В проведеному дослідженні необхідно було вирішити проблему із наявними складками, які не вдалось зовсім уникнути на даних видах

деталей, а також у зв'язку із необхідністю отримання допуску на поверхню виробу до 0,25 мм, було доцільним виконати «лікування» даних дефектів.

При подальшому виготовленні деталі, необхідно виконати її покриття ґрунтовкою, фарбою, а також встановити оковку у зоні радіусів. Наявність складок не допускає виконання даних операцій без проявлення дефектів після їх виконання. Сама наявність складок може навіть покращити деякі механічні властивості, але умовою даного виробу є обтічність, тоді як будь які зміни форми можуть призвести до збільшення навантажень на даних зонах і відповідно виникнення пошкодження деталі.

Проведений аналіз розрізу (див. рис. 3.5) показав, що утворені складки зачеплять лише один або два шари препрегу, що складає 10...20% від товщини деталі, а також, що наявна випуклість може задіти лише верхній шар препрегу. Відповідно ліквідація дефекту призведе до зменшення закладених характеристик на 10% в даній точці, але наявні дефекти вже не перевищували допустимі дефекти для даного матеріалу, а також умов креслення, а також міцність була у допустимих межах для деталі, тому було вирішено виконати ремонт даних дефектів.

Ремонт композиційних деталей виникає набагато частіше ніж при виготовленні деталей із металів, але складність і висока коштовність виготовлення тонкошарових виробів зі збереженням високої міцності із металів, надає композиційним матеріалам перевагу серед як вибору методів виготовлення, так і зменшенням вартості обладнання і інструменту. Ремонт дефекту було виконано за допомогою зашкурювання складок полірувальними кругами за допомогою орбітальних пневмо-машинок, що використовуються для зняття глянцею з поверхні композиційних виробів, та тим самим покращують поверхню виробу. Після полірування поверхня має кращу шорсткість та прибирається більшість поверхневих дефектів невидимих неозброєним оком. Здебільшого такі дефекти проступають після окрашені виробів і набагато менше проступають при ґрунтуванні, що

відносить їх ще до одних видів дефектів дуже розширених у композиційних матеріалів.

Тобто ліквідацію складок при виготовленні методом вакуумування можливо усунути при виконанні шліфування поверхні на стадії підготовки поверхні під фарбування, або приклеювання оковки. На поверхні деталі, яка підлягала фарбуванню, було виконано нанесення додаткового шару клею фірми LOCTITE, який надав можливість полімеризації при кімнатній температурі (15...30°C) зі здобуттям повних механічних властивостей за 24 години. Після 12 годин вже є можливість виконати механічну обробку, що доцільна при необхідності зменшенні часу для виготовлення деталі.

На місці приклеювання оковки недоцільно виконувати ту ж саму операцію з нанесенням клею у зв'язку із протилежною залежністю відносно до поверхні яка підлягає фарбуванню, так як наявність на поверхні місць із проявленою структурою волокон тканин вплине на погіршення адгезії, а також нерівномірності самої поверхні. А у випадку приклеювання деталей цей дефект навпаки покращить адгезійні властивості, так як нанесеного клею використаного на приклейку оковки, буде вистачати і на «лікування» дефекту, а також проявлені волокна утворять із клеєм додатковий композит який непрямым шляхом покращить приклеювання оковки, або інших деталей.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз технологічних факторів, які впливають на якість виготовленого композиційного матеріалу, а також на деталі виготовлені з цього матеріалу.

2. Проведені аналіз та порівняння наявних методів неруйнівного контролю для збереження структури виробів, а також використання різних методів контролю для виявлення дефектів у складній структурі композиційних матеріалів, що може забезпечити високу якість виготовленої продукції і зменшити витрати при доцільному підборі необхідних методів контролю.

3. На підставі літературних даних і виробничої практики вибрані конструктивні методи для зменшення утворених дефектів, розглянуто проблеми у методі вакуумного формування, приділено увагу факторам виробництва, які найбільше впливають на якість виготовлення композиційних матеріалів та деталей із них.

4. На підставі конструктивних вимог і технологічних особливостей виготовлення типової деталі обрані склад композиційного матеріалу, необхідні допоміжні матеріали, технологічні режими виготовлення, а також можливості ремонтпридатності даної деталі.

5. При виконанні даної дипломної роботи розглянута детальна технологія виготовлення типової деталі «обшивка стабілізатора», а також досліджено дефекти, які виникають при методі вакуумування і винайдені умови для їх зменшення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Митропольський І.Є. Вакуумна техніка: навчальний посібник / І.Є. Митропольський, Р.В. Грицак - Ужгород: УжНУ «Говерла», 2018. – 138 с.
2. Barbero E.J. Introduction to composite materials design / E.J. Barbero // 3rd ed.- CRC Press: Boca Raton, FL, 2018. – P. 39–47.
3. Wang P. Effect of Manufacturing Defect on Mechanical Performance of Plain Weave Carbon / P. Wang, Н. та інші. // Epoxy Composite Based on 3D Geometrical Reconstruction. - 2018. – P. 38–52.
4. Kostopoulos V. Autonomous Inspection and Repair of Aircraft Composite Structures / V. Kostopoulos // IFAC-PapersOnLine. –2018. –№51. – P. 554–557.
5. Workman G.L. Nondestructive testing handbook: ultrasonic Testing // American society of nondestructive testing: columbus, OH, USA, 2007. – P. 51-59.
6. Boeing 787 Dreamliner. [Електроний ресурс] Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Boeing_787_Dreamliner
7. Wang J. Experimental Fabrication and Characterization of Out-of-Plane Fiber Waviness in Continuous Fiber-Reinforced Composites / J. Wang // Compos. Mater, 2012. – №46. – 2053 p.
8. Carraro P.A. Influence of manufacturing induced defects on damage initiation and propagation in carbon / P.A. Carraro // Epoxy ncf laminates. adv. manif. polym. compos. sci, 2015. – №1. – P. 44–53.
9. Poudel A. Comparison and analysis of acoustography with other nde techniques for foreign object inclusion detection in graphite epoxy composites / A. Poudel // Compos. Part B Eng. 2015. – №78. – P. 86–94.

10. Marani R. Modeling and classification of defects in cfrp laminates by thermal non-destructive testing / R. Marani // *Compos. Part B Eng.*, –2018. – №135. – P. 129–141.
11. Wang J. A comparative study of non-destructive evaluation of glass fiber reinforced polymer composites using terahertz, x-ray, and ultrasound imaging / J.Wang // *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, 2019. – №20. – P. 963–972.
12. Wang J. Terahertz nondestructive imaging for foreign object detection in glass fibre-reinforced polymer composite panels / J. Wang // *Infrared Phys. Technol.*, 2019. – №98. – P. 36–44.
13. Neural-Fuzzy Approach in Detecting and Classifying Foreign Object Inclusions in CFRP Panel by Using Ultrasonic Testing. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/277011057>
14. Poudel A. Classification of ultrasonic echo signals to detect embedded defects in carbon fibre reinforced plastic laminates / A. Poudel // *Int. J. Microstruct. Mater. Prop.*, 2015. – №10. – 216 p.
15. Barry T. Defect characterisation in laminar composite structures using ultrasonic techniques and artificial neural networks / T. Barry // *Compos. Mater.*, 2016. – №50. – P. 861–871.
16. Ma M. High precision detection method for delamination defects in carbon fiber composite laminates based on ultrasonic technique and signal correlation algorithm / M. Ma // *Materials*, 2020. – №13. –3840 p.
17. Schmerr L.W. Jr. Fundamentals of Ultrasonic Nondestructive Evaluation / L.W. Schmerr // 2nd ed.; Springer Science+Business Media: New York, NY, USA, 2016; ISBN 978-3-319-30461-8.
18. Felice M.V. Sizing of flaws using ultrasonic bulk wave testing / M.V. Felice // *A Review. Ultrasonics*, 2018. – №88. – P. 26–42.
19. Nelson L.J. Ply-orientation measurements in composites using structure-tensor analysis of volumetric ultrasonic data. compos / L.J. Nelson // *Part A Appl. Sci. Manuf.*, 2018. – №104. – P. 108–119.

20. Wronkowicz-Katunin A. Uncertainty estimation for ultrasonic inspection of composite aerial structures / A. Wronkowicz-Katunin // *Nondestruct. Eval*, 2019. – №38. – 82 p.
21. Blandford B.M. High resolution depth and area measurements of low velocity impact damage in carbon fiber laminates via an ultrasonic technique / B.M. Blandford // *Compos. Part B Eng.*, 2020. - №188. - 843 p.
22. Normal Distribution. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=69843>
23. 1-D Interpolation (FFT Method) - MATLAB Interpft. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/interpft.html>
24. Mohammadkhani R. Improving depth resolution of ultrasonic phased array imaging to inspect aerospace composite structures / R. Mohammadkhani // *Sensors*, 2020. - №20. – 559 p.
25. Carraro PA. Influence of manufacturing induced defects on damage initiation and propagation in carbon/epoxy NCF laminates / PA. Carraro // *Advanced manufacturing: polymer & composites science*, 2015. – №44. – 53 p.
26. Wang P. Effect of manufacturing defect on mechanical performance of plain weave carbon / P. Wang // *Composite Structures*, 2018. – №199. – P. 38 – 52.
27. Blandford B.M. High resolution depth and area measurements of low velocity impact damage in carbon fiber laminates via an ultrasonic technique / B.M. Blandford, D.A. Jack // *Composites Part B: Engineering* 2020. - №188. - 78 p.
28. Ashir M. Sampling phased array technology for the detection of voids in carbon fiber-reinforced plastics / M. Ashir // *The journal of the textile institute*, 2019. - №110. - 89 p.
29. Montgomery D.C. *Design and Analysis of Experiments*; Springer Texts in Statistics; Springer: Berlin / D.C. Montgomery // Heidelberg, Germany, 2017. – V. 101. - P. 853-854.

30. Hong M. Uncertainty quantification for acoustic nonlinearity parameter in lamb wave-based prediction of barely visible impact damage in composites / M. Hong // *Mech. Syst. Signal. Process*, 2017. – №82. – P. 448–460.

31. Лобанов Л.М. Діагностика методом електронної ширографії дефектності елементів конструкцій, виготовлених із металевих та композиційних матеріалів з нанесеним захисним покриттям / Л.М. Лобанов, В.А. Знова, В.А. Півторак, І.В. Киянець // *Технічна діагностика і неруйнівний контроль* - Одеса 11-12 листопада 2017. - № 3. - P. 40-48.

32. Посипайко Ю.М. XXII Міжнародна конференція «Сучасні методи та засоби неруйнівного контролю і технічної діагностики» / Ю.М. Посипайко, О.Т. Зельніченко // *Технічна діагностика і неруйнівний контроль* - Одеса 10-14 вересня 2018. - № 3. - P. 62-67.