

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

«Проектування та технологія виготовлення композитного спойлера для легкового автомобіля»

Рівень вищої освіти перший бакалаврський
Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 132 Матеріалознавство
Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів

Шифр КвРМТВА. 21153.01.06.00

Виконав студент 4 курсу група МТВА-21-1


Підпис

Назар МАКСИМЧУК

Керівник к.т.н., доцент каф. ТАМ


Підпис

Сергій ПОСОНСЬКИЙ

Нормоконтролер к.т.н., доцент каф. ТАМ


Підпис

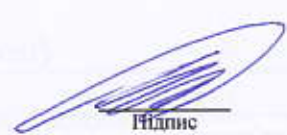
Олег БАБАК

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри ТАМ

6.06.25

Дата


Підпис

Олександр ДИХА

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства
Рівень вищої освіти перший бакалаврський
Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 132 Матеріалознавство
Освітня програма Відновлення та технічний сервіс автомобілів

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТАМ


Диха О.В.
20.02 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Максимчуку Назару Вікторовичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: *Проектування та технологія виготовлення композитного спойлера для легкового автомобіля.*

керівник роботи: Посонський Сергій Феліксович, доцент каф. ТАМ.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 7.02.2025 р. № 23 (Д 14)

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 16.06.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) *Матеріали курсових проектів, робіт, практики.*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) Спойлер та його особливості.

2) Технологічний процес виготовлення автомобільного спойлера.

3) Процеси проектування та виготовлення спойлеру.

4) Висновки, рекомендації

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання 21.02.25 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва розділу кваліфікаційної роботи | Строк виконання | Примітка |
|-------|--|-----------------|----------|
| 1 | <i>Спойлер та його особливості</i> | 4.05.25 | вик |
| 2 | <i>Технологічний процес виготовлення автомобільного спойлера</i> | 16.05.25 | вик |
| 3 | <i>Процеси проектування та виготовлення спойлеру</i> | 26.05.25 | вик |
| 4 | <i>Висновки, рекомендації</i> | 10.06.25 | вик |
| 5 | <i>Оформлення пояснювальної записки</i> | 12.06.25 | вик |
| 6 | <i>Допуск до захисту</i> | 14.06.25 | вик |
| 7 | <i>Захист дипломної роботи</i> | 16.06.25 | |

Студент


Підпис

Назар МАКСИМЧУК

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Сергій ПОСОНСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Студент групи МТВА-21-1 Максимчук Назар Вікторович.

Структура та обсяг пояснювальної записки. Дипломна робота на тему «Проектування та технологія виготовлення композитного спойлера для легкового автомобіля» складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 23 найменувань, розміщених на 3 сторінках, та 1 додатку розміщеного на 12 сторінках. Роботу викладено на 68 сторінках, з них 60 сторінок основного тексту, на яких розміщено 28 рисунків і 11 таблиць.

Форма транспортного засобу використовує близько 3 % палива для подолання опору в міській їзді, тоді як для їзди по шосе вона потребує 11 % пального. Це високе значення споживання палива під час руху по шосе можливо зменшити шляхом покращення аеродинаміки транспортного засобу за допомогою мінімальних змін в його конструкції.

Метою роботи є проектування композитного автомобільного спойлера та аналіз його аеродинамічного ефекту при встановленні на задній частині автомобіля.





На основі властивостей повітря було розраховано припущення про швидкість вітру 150 км/год, кут атаки 8° , число Рейнольдса $6,7 \cdot 10^5$ і притискну силу 829,614 Н.

При моделюванні статичного навантаження використовувалася притискна сила 829,614 Н, яка була представлена графічно як притискна сила та вплив напружень. Розрахункова товщина скловолоконного ламінату склала 0,51 мм.

Ключові слова: АЕРОДИНАМІКА, ПРИТИСКНА СИЛА, ОПІР, КУТ АТАКИ, ЛАМІНАРНИЙ І ТУРБУЛЕНТНИЙ ПОТІК, СПОЙЛЕР, КОМПОЗИТ, МОДЕЛЮВАННЯ, АНАЛІЗ НАПРУЖЕНЬ.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 5 |
| 1 СПОЙЛЕР ТА ЙОГО ОСОБЛИВОСТІ | 7 |
| 1.1 Конструкція та призначення спойлера | 7 |
| 1.2 Автоматичний спойлер | 10 |
| 1.3 Теоретичні аспекти проектування заднього спойлера | 14 |
| 1.3.1 Головні вимоги | 14 |
| 1.3.2 Процес вибору профілю | 15 |
| 1.3.3 Теорія лобового опору | 19 |
| 1.3.4 Притискна сила | 22 |
| 1.3.5 Ламінарні та турбулентні потоки | 23 |
| 1.3.6 Число Рейнольдса | 24 |
| 1.3.7 Число Маха | 25 |
| 2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО СПОЙЛЕРА | 27 |
| 2.1 Методи компоновання та матеріали | 27 |
| 2.2 Виробничі процеси формування | 37 |
| 2.2.1 Ручне формування | 27 |
| 2.2.2 Процес розпилення | 39 |
| 3. ПРОЦЕСИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ СПОЙЛЕРУ | 41 |
| 3.1 Аналіз процесу розробки продукту | 41 |
| 3.2 Розміри та властивості композитного заднього спойлера | 44 |
| 3.3 Виробничий процес | 49 |
| 3.4 Притискна сила заднього спойлера | 52 |
| 3.5 Моделювання та аналіз спойлера | 57 |
| ВИСНОВКИ | 64 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 65 |
| ДОДАТКИ | 68 |

| | | | | |
|--|-----|------------|---|---------|
| КвРМТВА. 21153.01.06.00 | | | | |
| Зм | Арк | № Докум. | Підпис | Дата |
| Виконав | | Максимчук |  | |
| Перевір. | | Посонський |  | |
| Н.контр. | | Бабак |  | |
| Затвер. | | Диха |  | |
| Проектування та технологія виготовлення композитного спойлера для легкового автомобіля. | | | | |
| | | Літера | Арквш | Аркушів |
| | | 4 | 68 | |
| ХНУ МТВА-21-1 | | | | |

ВСТУП

Аеродинаміка - це наука про те, як гази взаємодіють з рухомими тілами. Оскільки газ, з яким ми стикаємося найчастіше, є повітрям, аеродинаміка в першу чергу стосується сил лобового опору та підйомної сили, які викликані повітрям, що проходить над твердими тілами та навколо них. Форма транспортного засобу використовує близько 3 % палива для подолання опору в міській їзді, тоді як для їзди по шосе вона потребує 11 % пального. Це високе значення споживання палива під час руху по шосе можливо зменшити шляхом покращення аеродинаміки транспортного засобу за допомогою мінімальних змін в його конструкції [1].

Сили, які повинен долати рухомий автомобіль, це опір тіла, тертя трансмісії, висота, зміни прискорення автомобіля, а також аеродинаміка. Задні спойлери можна визначити як аеродинамічні пристрої, які зазвичай додають до задньої кромки даху або багажника автомобіля для покращення його аеродинамічних характеристик. В першу чергу, мета полягає в тому, щоб покращити притискну силу, незважаючи на подальше покарання за опір [2]. Транспортний засіб рухається по плоскій поверхні з постійною швидкістю, і зовнішні сили обмежені тертям шини та аеродинамічним опором. Аеродинаміка автомобіля інтегрує колісні дуги та фари в загальну форму, щоб зменшити опір. Це буде спрощено, наприклад, він не має гострих країв, що перетинають потік вітру над лобовим склом, і матиме хвіст, який називається фастбек або ліфтбек. Автомобільна аеродинаміка вивчається за допомогою комп'ютерного моделювання та тестування в аеродинамічній трубі. Для отримання найбільш точних результатів випробування в аеродинамічній трубі тунель іноді обладнують рухомою дорогою. Сила аеродинамічного опору діє на кузов транспортного засобу, протидіючи його руху вперед. Ця сила є важливою силою, яку слід враховувати при проектуванні зовнішнього кузова автомобіля, оскільки вона покриває

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 5 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

близько 65% загальної сили, що діє на весь кузов [3]. Це рухома підлога для робочої секції, яка рухається з тією ж швидкістю, що і потік повітря. Це запобігає утворенню граничного шару на підлозі робочої секції та впливу на результати.

Дослідження аеродинаміки впливає на те, як автомобіль розрізає повітря, прагнучи створити притискну силу за мінімального додаткового опору.

Метою роботи є проектування композитного автомобільного спойлера та аналіз його аеродинамічного ефекту при встановленні на задній частині автомобіля.

Завдання роботи:

- 1) Виконати аналіз геометрії заднього спойлера щодо його бажаної функції в автомобілі.
- 2) Застосовувати методи аналізу кінцевих елементів (FEM) до структурного проектування спойлера.
- 3) Розробити технологічний процес виготовлення спойлера з композитних матеріалів.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 6 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1 СПОЙЛЕР ТА ЙОГО ОСОБЛИВОСТІ

1.1 Конструкція та призначення спойлера.

Спойлер це пристрій крилоподібної конструкції, що використовується в автомобілях для направлення повітряного потоку вгору для збільшення притискної сили шин до дороги під час руху. Це помітно покращує стійкість автомобіля за рахунок зменшення підйомної сили та опору автомобіля на високій швидкості. Опір це сила, що тягне автомобіль назад під час руху, тобто сила, протилежна напрямку руху автомобіля, тоді як підйомна сила це сила, спрямована вгору, яка створюється під шасі та змушує передні шини автомобіля трохи підніматися над землею, коли рух автомобіля набирає деяку швидкість.

Крім того, спойлери часто встановлюються на гоночних і високопродуктивних спортивних автомобілях, хоча вони також стали звичайними для легкових автомобілів. Деякі спойлери додаються до автомобілів переважно з метою стилю та мають або незначну аеродинамічну користь, або навіть погіршують аеродинаміку.

Відповідно до [4], основна функція спойлера полягає в розсіюванні потоку повітря, що проходить над і навколо транспортного засобу, що рухається, коли він проходить над транспортним засобом. Ця дифузія досягається збільшенням кількості турбулентності, що протікає по формі і «викривляє» ламінарний потік і забезпечує подушку для ламінарного прикордонного шару, тим самим створюючи притискну силу, коли повітря проходить навколо спойлера автомобіля.

Однак мінімізація опору, викликаного турбулентністю, може сповільнити автомобіль. Щоб створити притискну силу до автомобіля, крило працює за допомогою повітряного потоку з різними швидкостями, що

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 7 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

проходить по обох сторонах крила, таким чином створюючи різницю тиску навколо контурної форми аеродинамічного профілю.

Розглядаючи транспортний засіб на рисунку 1.1 з лівого боку без спойлера, коли транспортний засіб прискорюється, існує рівна кількість сили опору у формі повітря, яка протилежна напрямку руху автомобіля. Це означає, що опір як сила завжди присутній, коли є швидкість. Таким чином, щоб мінімізувати цей опір руху автомобіля, двигун вироблятиме більше потужності, щоб подолати силу опору. Це призводить до спалювання більшої кількості палива, а також робить автомобіль дуже легким на максимальній швидкості.

Автомобіль, що рухається на високій швидкості має низьку стабільність, і це може ускладнити гальмування, а також подолати поворот.

Тому, щоб мінімізувати ефект лобового опору, необхідно створити більшу притискну силу, таким чином, увімкнувши задній спойлер на автомобілі, який показаний праворуч на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Автомобіль без і з ефектом спойлера.

Задній спойлер розроблено з поступовою товщиною до хвостової кромки, що перешкоджає руху частинок повітря. Крім того, він додає стабільності руху автомобіля, оскільки створює притискну силу, яка є вертикальною силою, яка діє на шини, створюючи зчеплення з дорогою.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 8 |

У правій частині рисунка 1.1 частинкам повітря, що рухаються, перешкоджає задній спойлер, змушуючи частинки змінювати свій рух. Коли частинки повітря, що перешкоджають руху, набирають обертів, вони збираються разом і фактично створюють більше сили навколо багажника автомобіля, отже створюється притискна сила.

На рисунку 1.2, наведеному нижче, зображено профіль крила в поперечному перерізі з рухомими частинками повітря навколо нього. Розроблений спойлер має форму аеродинамічного профілю, що дозволяє повітрю швидше циркулювати зліва направо, а завдяки формі аеродинамічного профілю повітря рухатиметься швидше на нижній поверхні, ніж на верхній. Результуюча різниця тиску є тією силою, яка штовхає автомобіль на землю, прилипаючи до дороги. Таким чином, аеродинамічний профіль є основною структурою для спойлера з вигнутими поверхнями, розробленими для забезпечення найбільш сприятливого опору, тоді як всмоктування є актом або процесом видалення циркулюючого повітря, що рухається вздовж кузова автомобіля, щоб змусити шини притискатись до дороги [5].



Рисунок 1.2 – Типовий поперечний переріз крила (спойлера).

Профіль крила в поперечному перерізі ілюструє різницю тиску, що створюється рухом частинок повітря навколо крила.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 9 |

1.2 Автоматичний спойлер.

Впровадження автоматизованих спойлерів виявилось корисним, оскільки більшість спойлерів транспортних засобів розроблено для переривання несприятливого потоку повітря у фіксованому напрямку та стані.

Транспортний засіб із заднім спойлером, що працює у фіксованому стані, наприклад, порушує потік повітря під час крутих поворотів, не буде таким ефективним, коли цей самий транспортний засіб рухається в напрямку потоку. Таким чином, розгортання автоматичного спойлера є вигідним.

Як згадувалося раніше, аеродинамічні профілі мають крилоподібну форму із заокругленою передньою кромкою з поступовим потовщенням до хвостової кромки. Це відіграє важливу роль у створенні різниці тиску, оскільки рухомі частинки повітря рухаються швидше по нижній поверхні, ніж по верхній стороні, і, отже, час проходження частинок зазвичай менше на нижній поверхні порівняно з верхньою стороною.

Фактично це створює різницю тиску, отже, створюючи необхідну силу штовхання, яка називається притискною силою автомобіля, яка врешті-решт допомагає досягти необхідної швидкості та зчеплення з шинами під час руху автомобіля.

В автоматизованому спойлері положення та кут атаки можна змінювати, збільшуючи висоту заднього спойлера та вводячи додаткові кронштейни з шарнірами, щоб втягувати та регулювати автоматичний спойлер.

Автоматизований задній спойлер транспортного засобу складається принаймні з одного аеродинамічного профілю з подовженою передньою та задньою кромкою для забезпечення необхідного ефективного опору. Приводи можна втягувати в лінійно для забезпечення різних положень аеродинамічного профілю.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 10 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Метою керованої гальмівної системи є виявлення подій, пов'язаних із гальмуванням транспортного засобу, а датчики, які допомагають у системі керма та переміщенні заднього спойлера, можуть керуватися автоматично або вручну.

На рисунку 1.3 показано добре позначене аеродинамічне покриття, яке є поперечним перерізом спойлера (крила) з кутом атаки, а форма крила змінюється вздовж радіуса лопаті, щоб використовувати перевагу швидкості повітря навколо верхнього та нижнього розвалу [6].

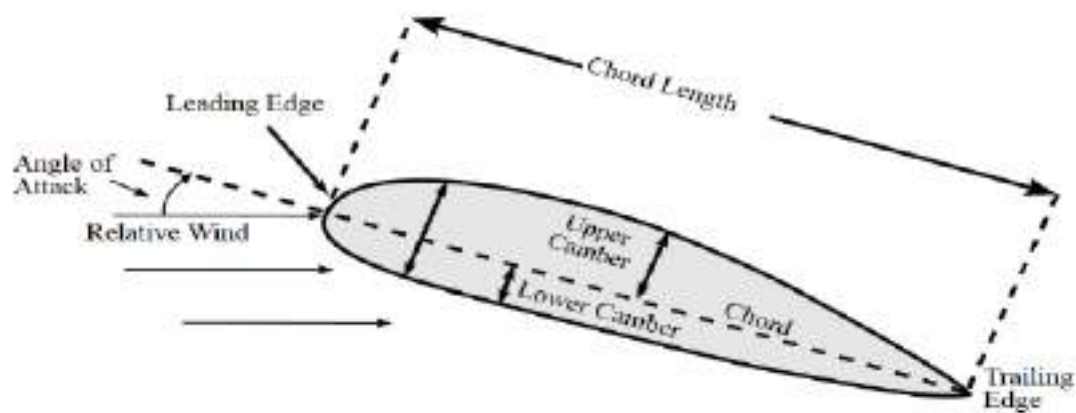


Рисунок 1.3 – Типове аеродинамічне крило з кутом атаки.

Лінія хорди це уявна пряма лінія через спойлер, яка з'єднує передню та задню кромки профілю, тоді як довжина хорди це уявна пряма лінія від передньої кромки до задньої кромки. Вона вимірюється як поздовжній розмір спойлера.

Кривизна спойлера називається розвалом, а задня кромка є задньою частиною аеродинамічного профілю, де зустрічається повітря, що протікає через верхній і нижній розвал.

Передня кромка це та частина профілю, де починається потік повітря. Його форма визначає швидкість аеродинамічного профілю, оскільки аеродинамічний профіль, призначений для роботи на високій швидкості,

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 11 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

матиме дуже гострий передній край, щоб легко транспортувати повітряні частинки, коли вони торкаються краю.

Кут атаки – це співвідношення між «хордою» спойлера та вектором, створеним у напрямку повітряного потоку над спойлером. Можна зауважити, що зі збільшенням кута атаки сила опору зрештою збільшиться, і це буде служити опором для прискореного автомобіля.

Таким чином, автоматичний спойлер може відігравати значну роль у мінімізації тягової сили, оскільки його можна нахилити під бажаним кутом, щоб створити більше «викривлення» на надзвичайно високій швидкості. Це створить більшу притискну силу, яка фактично мінімізує силу опору.

Роботу автоматизованого заднього спойлера можна здійснювати, регулюючи та змінюючи кут атаки повітряного потоку навколо кузова транспортного засобу шляхом повороту на шарнірі для створення спрямованої вниз сили протипідйому. У Porsche серії 911 від Carrera до Panamera висувні задні спойлери включені в механічну конструкцію автомобіля.

Porsche 911 серії 2012 року випуску в автоматизованому режимі та залежно від швидкості автомобіля та положення похилого даху задній спойлер може автоматично висуватися на швидкості понад 120 км/год і в кінцевому підсумку може знову втягуватися приблизно на 80 км/год).

Це досягається шляхом вибору бажаного антиліфту, тобто спрямованих вниз сил на спойлер, встановленого приводу у формі гідравлічного циліндра та поршня, і це з'єднання контролюється ногою педаллю або нижнім пресом. У приводі використовується сервомеханізм, як показано на рисунку 1.4, оскільки сервопривід реверсу є автоматичним пристроєм, який дає сигнали зворотного зв'язку або виправлення помилок у вхідному сигналі [7]. Він вимірюється перетворювачем, який є пристроєм, який перетворює вхідний тиск в електричні сигнали, і, таким чином, сервопристрій порівнює фактичний вхідний сигнал із отриманим сигналом, і за допомогою камери

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 12 |

керування та живлення небажаний сигнал використовується для керування системою, у напрямку, необхідному для зменшення або скасування помилки.

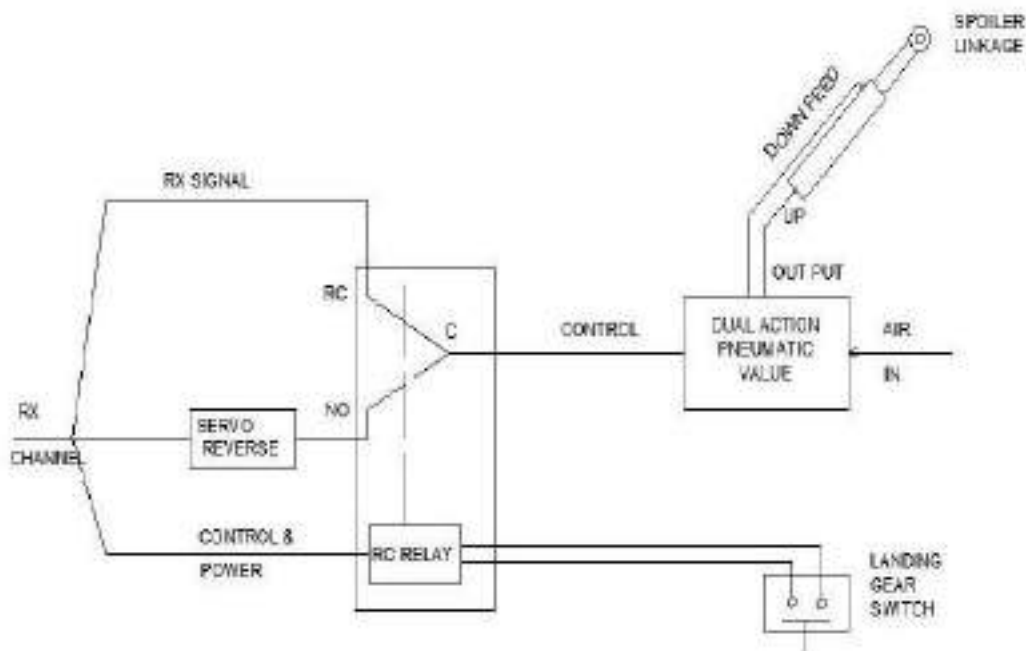


Рисунок 1.4 – Схематична блок – схема спойлера.

Спойлер має шарнірні штифти колони, які розташовані в центрі так, що наявність відносного рухомого повітряного потоку змушує спойлер приймати великий негативний кут атаки. Це призводить до того, що спойлер набуває відтінку переднього профілю повітряного потоку, змушуючи його відчувати прямі аеродинамічні сили, спрямовані вниз і назад. Це покращує зчеплення з колесами.

Однак він також призначений для зменшення або усунення сил проти підйому, оскільки на привід можна надати тиск, щоб змусити передні краї підніматися вгору навколо своїх поворотних штифтів. Це незмінно зменшує негативний кут атаки, і тому спойлер повертається до нульового кута атаки до повітряного потоку.

Висувний задній спойлер серії Porsche покращує стійкість на високих швидкостях і знижує споживання палива на низьких швидкостях. Однак

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 13 |

автомобілі з турбодвигунами мають покращений задній спойлер із більшою та ефективнішою поверхнею спойлера завдяки додатковим заслінкам для покращення аеродинаміки.

Є кілька різних спойлерів, розташованих у стратегічних місцях на автомобілі, і всі вони служать певним цілям.

Спойлери на п'єдесталі насправді мають аеродинамічні підсилювачі, які створюють значну кількість притискної сили на автомобіль, коли вони встановлені на багажнику. Ці типи спойлерів порушують аеродинамічний опір і забезпечують кращу економію палива та ефективність.

Він більш–менш такої ж ширини, як багажник автомобіля і фіксується в 2 або 4 точках.

1.3 Теоретичні аспекти проектування заднього спойлера.

1.3.1 Головні вимоги.

У процесі проектування заднього спойлера автомобіля необхідно враховувати правила, що регулюють специфікації та вимоги, щоб досягти оптимальних проектних цілей для ефективного мінімізації лобового опору автомобіля.

Вимоги до конструкції заднього спойлера, які необхідно враховувати, стосуються продуктивності, оскільки спойлер повинен мінімізувати опір, стійкість і контроль, завдяки чому автомобіль може залишатися на землі з шинами на дорозі на прискореній швидкості.

Задній спойлер повинен мати економічно ефективну конструкцію, а також легко керувати ним, якщо це автоматичний спойлер.

Спойлер або крило має бути орієнтоване у площині так, щоб чотирикутник визначав зовнішню частину шин з боків транспортного засобу поперечною лінією 460 мм між задніми частинами задніх шин. Спойлер

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 14 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

повинен бути встановлений у відповідному місці, щоб він не блокував оглядовість та вихід водія.

У проектній геометрії передні краї заднього спойлера або крила повинні мати мінімальний радіус 12,7 мм, і вони повинні бути тупими або тупішими за необхідні радіуси для дуги плюс або мінус 45 градусів з центром у площині, паралельній землі.

Краї спойлера або крила повинні мати мінімальний радіус країв не менше 3 мм, тобто товщина краю не менше 6 мм. Встановлюючи крило для автомобіля, спочатку необхідно передбачити теоретичну максимальну швидкість повітря, що надходить у верхню частину багажника автомобіля без крила, і максимальну швидкість. Слід також розрахувати швидкість повітряного потоку, коли крило встановлено на транспортному засобі. Це допоможе дизайнеру вирішити, як найкраще знизити максимальну швидкість за допомогою спойлера.

Розрахована різниця між максимальною швидкістю зі спойлером і без нього буде використана як притискна сила. Таким чином, відносно невеликі зміни, додані до конфігурації заднього антикрила, змінюють притискну силу, а також значно покращують коефіцієнт лобового опору автомобіля.

1.3.2 Процес вибору профілю.

Найкращий спосіб вибору аеродинамічного профілю – спочатку врахувати вагу спойлера, оскільки найкраще уникнути небажаної ваги автомобіля.

У таблиці 1.1, наведеній нижче, ілюструється розподіл відсотків важливості за кількостями, що має значення для отримання оптимальної конструкції крила [8].

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 15 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 1.1 – Розподіл відсотків важливості.

| Мета дизайну | Вага (%) |
|--------------------------|----------|
| Вимога стабільності | 20 |
| Контрольні вимоги | 15 |
| Вимога щодо вартості | 10 |
| Вимоги до продуктивності | 10 |
| Операційні вимоги | 40 |
| Інші вимоги | 5 |
| Підсумовування | 100 |

Спойлер розроблений із поперечним перерізом, який називається аеропрофіль, і його основною функцією є створення оптимального розподілу тиску з обох сторін спойлера, тобто верхньої та нижньої поверхонь.

Одним із параметрів крила, який необхідно враховувати в процесі проектування крила, є вертикальне розташування крила відносно багажника транспортного засобу та його вирівнювання з кузовом автомобіля.

Типовий розріз аеродинамічного профілю показано нижче на рисунку 1.5, де показано кілька геометричних параметрів. Профіль називається симетричним, якщо середня лінія розвалу є прямою, інакше він відомий як вигнутий профіль.

Розвал аеродинамічного профілю зазвичай позитивний, а кут атаки збільшується разом із різницею тиску між верхньою та нижньою поверхнями, як показано на рисунку 1.6 [9].

Сила, поділена на площу, зазначається як тиск, таким чином, аеродинамічну силу, створювану аеродинамічним профілем у полі потоку, можна розрахувати математично шляхом множення загального тиску на площу.

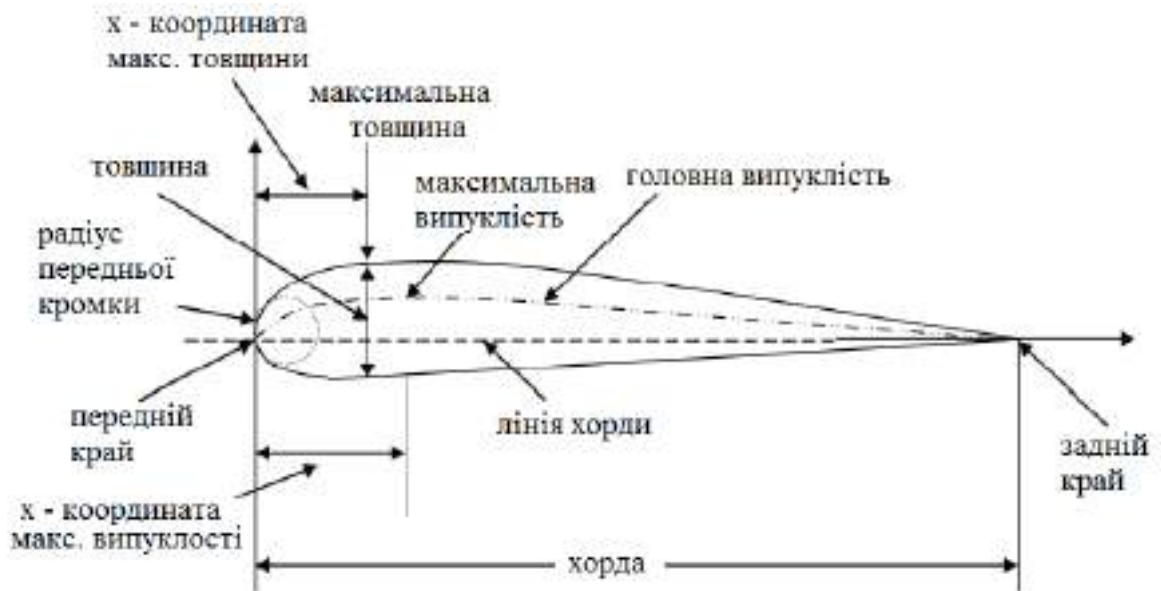


Рисунок 1.5 – Геометричні параметри профілю.

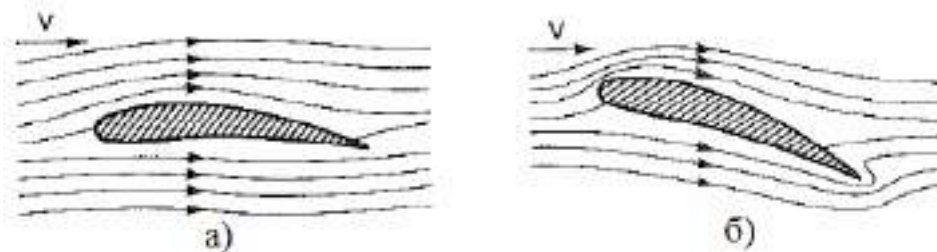


Рисунок 1.6 – Потік навколо профілю:

а – малий кут атаки; б – великий кут атаки

Загальний тиск можна просто отримати шляхом інтегрування тиску по всій поверхні. Величина, розташування та напрямок аеродинамічної сили є функцією геометрії аеродинамічного профілю, тобто кута атаки, властивості течії та швидкості польоту відносно профілю. По суті, аеродинамічний профіль повинен бути розроблений з найменшим мінімальним коефіцієнтом лобового опору. Таким чином, одним із найнадійніших ресурсів і широко використовуваних баз даних у розробці аеродинамічних профілів є профілі NASA, рисунок 1.7.

Чотиризначні форми аерокрил серії NASA широко використовуються в якості стандарту для розробки автомобільного спойлера. У чотиризначному профілі NASA перша цифра символізує максимальний розвал у відсотках

| | | | | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|--|--|--|------|
| | | | | | | | | | Арк. |
| | | | | | | | | | 17 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | | | | |

хорди (довжина аеродинамічного профілю), тоді як друга цифра представляє положення максимального розвалу в десятих довжини хорди.

Останні дві цифри вказують максимальну товщину у відсотках хорди; однак нуль у першій цифрі означає, що профіль симетричний у перерізі.

Розвал чотирирозрядного профілю складається з двох парабол, одна з яких використовується для створення геометрії розвалу від передньої кромки до максимального розвалу, а інша створює форму розвалу від максимального розвалу до задньої кромки [9].

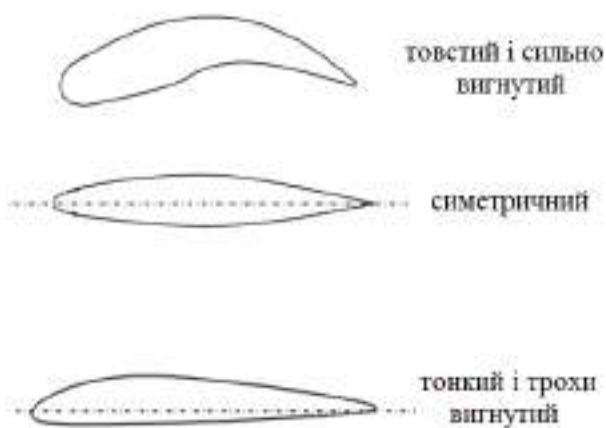


Рисунок 1.7 – Зразок секції профілю.

Секція аеродинамічного профілю NASA 1408, показана нижче на рисунку 1.8, має 8 - відсоткове відношення товщини до хорди $\left(\frac{t}{C}\right)_{\max}$, що є останніми двома цифрами, її максимальний розвал становить 10 відсотків, а максимальне розташування розвалу становить 40 відсотків довжини хорди [9].

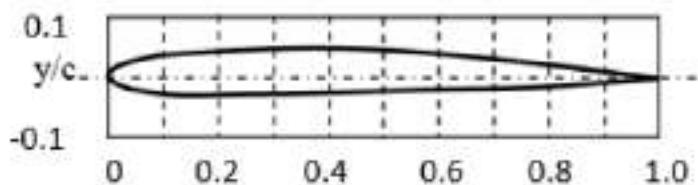


Рисунок 1.8 – Секція профілю NASA 1408.

1.3.3 Теорія лобового опору.

Відповідно до [10] визначення лобового опору таке: «Опір це аеродинамічна сила, яка протилежна швидкості об'єкта, що рухається в повітрі або рідині. Вона прямо пропорційна різниці швидкостей між повітрям і твердим об'єктом».

Лобовий опір буває в різних формах, опір тертя є результатом тертя молекул твердих речовин об молекули повітря в їх прикордонному шарі.

Тертя та його опір залежать від властивостей рідини та твердої речовини, оскільки, наприклад, гладка поверхня твердого тіла створює менше тертя порівняно з шорсткою.

Тертя змінюється залежно від його в'язкості разом із потоком повітря та відносною величиною сил в'язкості до руху потоку; це виражається як число Рейнольдса.

Потік низької енергії, що генерується вздовж твердої поверхні, залежить від величини тертя шкіри та умов у прикордонному шарі.

Таким чином, форма опору залежить від конкретної форми профілю крила, рисунок 1.9.

Зміни тиску повітря та швидкості руху повітря, що обтікає спойлер, створюють необхідну силу для зчеплення шин із дорогою.

Індукований опір або інтерференційний опір є результатом завихрень, які утворюються за твердим об'єктом через зміну напрямку повітря навколо спойлера.

У механіці рідини вихор вважається областю, де потік здебільшого має обертовий рух».

Таким чином, кількість опору, який виникає під час руху автомобіля, можна кількісно визначити як коефіцієнт опору. Цей коефіцієнт виражається як відношення сили опору до сили, спричиненої динамічним тиском,

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 19 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

помноженим на площу, тоді як на відносно високих швидкостях із високим числом Рейнольдса ($Re > 1000$) силу аеродинамічного опору можна розрахувати як:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho V^2 A C_d, \quad (1.1)$$

де: F_d - сила опору, ρ - густина повітря, V - швидкість об'єкта відносно рідини (м/с), A - контрольна площа поверхні, C_d - коефіцієнт опору.

Наведена вище формула показує, що аеродинамічний опір зростає з квадратом швидкості.







| Shape | | Drag Coefficient |
|-----------------------|--|------------------|
| Sphere |  | 0.47 |
| Half-sphere |  | 0.42 |
| Long Cylinder |  | 0.82 |
| Short Cylinder |  | 1.15 |
| Streamlined Body |  | 0.04 |
| Streamlined Half-body |  | 0.09 |

Рисунок 1.9 – Тип коефіцієнта лобового опору [10].

Формулу коефіцієнта лобового опору можна вивести з рівняння Даніеля Бернуллі для тиску в рідині, яке подається як:

$$P_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (1.2)$$

Перший член з обох сторін рівняння називається атмосферним тиском, який спостерігається як зовнішній тиск вмісту рідини, тоді як другий член є гравітаційною силою, яка викликає плавучість.

Третій член – це кінетичний або динамічний внесок у тиск, який відчувається, який пов'язаний з потоком і має відношення до визначення сили опору.

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = PA. \quad (1.3)$$

В рівнянні Бернуллі тиск визначається як:

$$P = \frac{1}{2} \rho V^2. \quad (1.4)$$

Вставляючи рівняння 1.3 у 1.4, отримаємо:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho V^2 AC. \quad (1.5)$$

У рівнянні 1.5 є додатковий фактор, який є символом c , який є коефіцієнтом лобового опору, який означає, що на нього впливають такі фактори, як в'язкість, текстура та форма, що призводить до в'язкого опору та тертя поверхні.

Таким чином, в'язкий опір спостерігається в ламінарному потоці, коли рідини обтікають перешкоду; він чинить в'язкий опір перешкоді, тоді як тертя поверхні – це опір навколо поверхні спойлера, з яким стикається рухоме повітря.

Отже, можна зробити висновок, що опір прямо пропорційний щільності та площі, але завжди існує сила опору з рухомих транспортним засобом, що означає, що чим більше прискорення, тим більша сила опору.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 21 |

Таким чином, з рівняння Бернуллі це квадрат швидкості. Можна чітко зробити висновок, що опір пов'язаний зі швидкістю певним поліномом [11].

1.3.4 Притискна сила.

Теорія Ньютона наголошує, що у замкнутій системі енергія постійна, навіть якщо вона може перетворюватися з однієї форми в іншу. Таким чином, з цієї теорії Даніель Бернуллі вивів формулу, яка доводить, що загальна енергія в рідинній системі, що постійно тече, є постійною на шляху потоку.

Збільшення швидкості рідини повинно бути узгоджено зі зниженням її тиску. Додавання зміни тиску, помноженої на площу навколо всього тіла, визначає аеродинамічну силу, що діє на тіло [10].

Роботу крила краще пояснити за допомогою крила в постійному ламінарному потоці повітря, рисунок 1.10. Спойлери розроблені з більшою товщиною на одному кінці, тому вільне від молекул повітря рухається з різною швидкістю в різних місцях повітряних потоків [12].

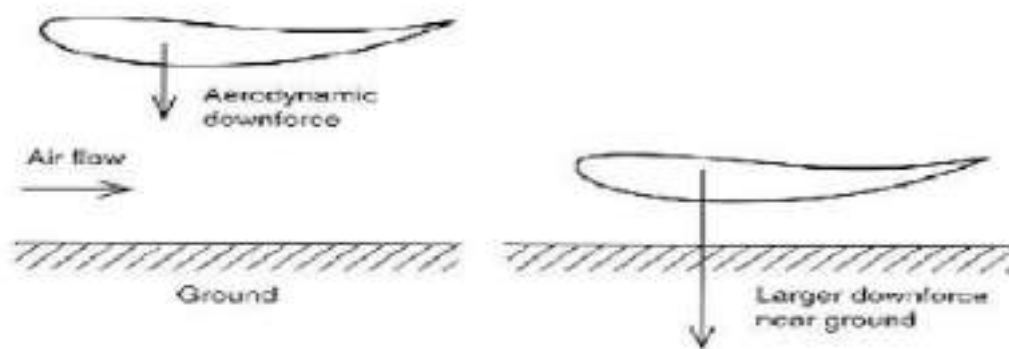


Рисунок 1.10 – Аеродинамічна притискна сила

Тому збільшення швидкості потоку та зменшення тиску трохи зменшить потік повітря на нижній поверхні. Різниця тиску створюватиме спрямовану вниз силу на крилі через нижчу повітряну швидкість у верхній частині спойлера.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 22 |

Крило має контурну форму, щоб викликати новий поворот повітряного потоку, створюючи притискну силу [10].

Однак повітря на довшій стороні крила буде текти набагато швидше, ще більше збільшуючи ефект притискної сили. Одночасне збереження маси, імпульсу та енергії рідини (нехтуючи впливом в'язкості повітря) називаються рівняннями Ейлера [10].

1.3.5 Ламінарні та турбулентні потоки.

Коли транспортний засіб рухається в нерухомому повітрі, його форма заважає частинкам повітря так, що їх швидкість не є однаковою в усіх місцях потоку. Якщо частинки повітря рухаються «добре організованими» паралельними лініями, це називається ламінарним. З іншого боку, можна мати таку саму середню швидкість у потоці, але врешті решт середня швидкість частинок рідини миттєво переміститься в протилежному напрямку вздовж спойлера.

Рідина з такою поведінкою називається турбулентною, навіть якщо середня швидкість може бути однаковою як у ламінарному, так і в турбулентному потоках.

Важливо знати тип потоку, з яким ми маємо справу, чи є він ламінарним або турбулентним, оскільки такі характеристики, як розділення потоку та опір автомобіля, можуть різко змінюватися між цими двома потоками.

У «Аеродинаміці гоночних автомобілів» зазвичай, коли автомобіль рухається в безтурботному середовищі, переважаючий потік можна вважати ламінарним. Однак такі умови, як спойлери або рух інших транспортних засобів, можуть спричинити турбулентність потоку.

Спочатку потік може бути навіть ламінарним, але може стати турбулентним через збурення, яке створює сам транспортний засіб.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 23 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Саме для цього покликаний спойлер. Коли обтічна частинка повітря, що рухається, потрапляє на спойлер, вона перетворюється на турбулентність, викликаючи завихрення навколо багажника автомобіля, і таким чином штовхає шини на землю, створюючи необхідну притискну силу, рисунок 1.11, [13].

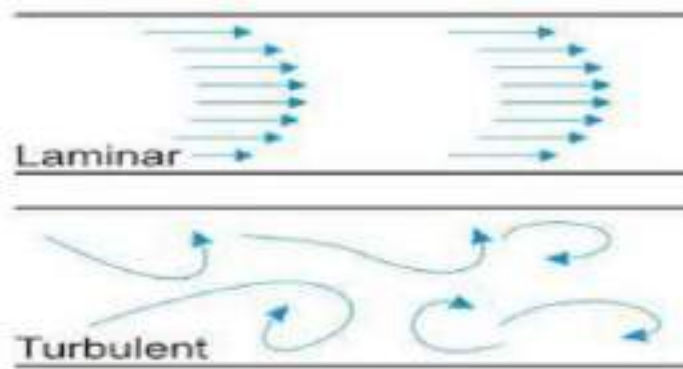


Рисунок 1.11 – Типи повітряного потоку [14].

1.3.6 Число Рейнольдса.

Число Рейнольдса має життєво важливе значення в аеродинаміці автомобілів, оскільки воно допомагає визначити тип очікуваного потоку. Високе число Рейнольдса вказує на турбулентний потік, тоді як низьке число Рейнольдса свідчить про ламінарний потік.

Збільшення числа Рейнольдса як у ламінарному, так і в турбулентному прикордонному шарі дає нижчий опір поверхневого тертя. Таким чином, ефект тертя шкіри вказує на рівень тертя між поверхнею транспортного засобу та потоком повітря.

Зокрема, діапазон числа Рейнольдса в умовах ламінарного або турбулентного потоку залежить від форми профілю спойлера та його обробки поверхні, а також від відсутності вібрації під час постійного початкового потоку.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 24 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таким чином, число Рейнольдса Re визначається як співвідношення між силами інерції та силами в'язкості, створеними в повітрі, і формулюється як:

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu}, \quad (1.6)$$

де: Re - число Рейнольда, ρ - густина рідини, V - швидкість, L - довжина спойлера (крила), μ - динамічна в'язкість рідини.

Таким чином, число Рейнольдса дуже важливе для аеродинаміки автомобіля та створення спойлерів, оскільки опір, з яким стикається спойлер (крило), є функцією числа Рейнольдса.

1.3.7 Число Маха.

Число Маха (M) є ще одним корисним параметром, який визначає фізичну природу конкретного потоку над верхнім розвалом спойлера. Таким чином, коли частинки повітря, що рухаються, досягають швидкості звуку на високій швидкості прискореного транспортного засобу, частинки повітря починають стискатися, в результаті чого утворюються частинки, що стискаються. Швидкістю звуку називають швидкість, з якою збурення тиску в повітрі поширюється в атмосфері відносно змін температури. Таким чином, при вищій температурі повітряні маси створюють ефективніші та більше зіткнень, ніж при низьких температурах.

Число Маха визначається як відношення швидкості потоку до швидкості звуку в певному середовищі, наприклад у повітрі, і є безвимірною величиною [15].

$$M = \frac{V}{a}, \quad (1.7)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 25 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

де: v - швидкість потоку, a - швидкість звуку.

Роль числа Маха може бути виражена в дозвукових, трансзвукових і надзвукових умовах з точки зору гоночних автомобілів. Дозвукові умови можуть бути виражені на низькій швидкості, а число Маха менше одиниці; $M < 1$ і квадрат числа Маха дуже малий, що означає, що стисливою рідиною на цьому етапі можна знехтувати. Зазвичай це відбувається, коли частинки повітря рухаються повільніше звуку. Потік пристосовується до будь-якого об'єкта, який служить перешкодою, і таким чином плавно проходить уздовж об'єкта.

Коли швидкість частинок наближається до швидкості звуку, число Маха дорівнює 1; $M = 1$, і цей тип потоку називають трансзвуковим, що вказує на те, що зміна щільності майже дорівнює зміні швидкості.

Коли швидкість перевищує швидкість звуку, число Маха більше одиниці, $M > 1$; таким чином, щільність змінюється швидше, ніж змінюється швидкість, і такі величини, як тиск і температура, збільшуються залежно від інтенсивності потоку.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 26 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС ВИГОТОВЛЕННЯ АВТОМОБІЛЬНОГО СПОЙЛЕРА

2.1 Методи компоновання та матеріали.

У виробництві автомобільних спойлерів використовуються величезні традиційні технологічні процеси. Деякі з цих методів – це ручне формування, вакуумне формування та розпилення. Таким чином, при створенні деталі є три основні міркування, а саме:

- 1) Оцінка вартості.
- 2) Сировина.
- 3) Метод.

Таким чином, залежно від обраного виробничого процесу вибирається відповідна сировина, наприклад скловолокно, і укладається на інструмент (форму). Після цього тепло і тиск застосовуються для перетворення сировини в готовий або кінцевий продукт у корпусі спойлера.

Вартість виробництва в автомобільній промисловості є дуже високою, що означає, що виготовлення такої деталі, як спойлер із композиту, може бути дорогим; однак більшість клієнтів на автомобільному ринку чутливі до вартості. Тому для виробництва доступних спойлерів із високоякісних та функціональних композитних матеріалів використовуються найкращі методи виробництва.

Факторами, які впливають на вартість, є сировина, тривалість технологічного циклу та складальна частина. Вартість виробу також залежить від обсягу виробництва.

Таким чином, оцінка витрат є дуже важливим елементом у виробництві продукту за низькими витратами. Це має значний вплив на ринок, оскільки в області композитних матеріалів продукт повинен конкурувати з добре розвиненими традиційними матеріалами, такими як технології металу.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 27 |

Тому при виборі правильних виробничих процесів слід повністю проаналізувати зв'язок між обсягом виробництва та собівартістю продукту.

Оцінка собівартості проводиться для прогнозування собівартості продукту та надання пропозиції або встановлення ціни продажу. Це також дозволяє інженеру порівнювати інші варіанти конструкції.

Також корисно порівняти вартість матеріалів, робочу силу, обладнання та методи різних варіантів виробництва, оскільки детальна специфікація виробу спойлера повинна включати тип волокон і матеріалів матриці, орієнтацію волокон і метод виготовлення, який буде використовуватися.

Крім того, вартість продукту значною мірою залежить від правильної оцінки, яка включає такі параметри, як детальний креслення продукту, який є добре накресленим кресленням, а також вимоги до обладнання та аксесуарів.

Гарне знання тривалості технологічного циклу та вимог до обробки є життєво важливим для того, щоб отримати уявлення про швидкість виробництва, яка в кінцевому підсумку повинна забезпечити достатній час для пакування та графіків доставки.

Сировина для процесів виробництва композитів.

Використання сировини в процесах виробництва композитів можна розділити на дві основні частини. Це композиційні матеріали на основі терморезистивних і термопластичних матеріалів.

Термопласти – це ті матеріали, яким можна змінити форму або переплавити після затвердіння, тоді як терморезистивні пластмаси неможливо переплавити після затвердіння.

Кожен з терморезистивних і термопластів має свої переваги та недоліки щодо вартості, обробки, можливості повторної переробки, продуктивності та зберігання.

Таким чином, деякі матеріали найкраще підходять для конкретних методів виробництва, особливо для виготовлення деталей, наприклад, у процесах лиття під тиском використовуються гранули, тоді як для

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 28 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

намотування ниток використовуються безперервні волокна та системи вологих смол у більшості процесів.

Композитні системи складаються з двох основних компонентів, а це армування та смоляна матриця.

Підсилення – це стрижнева структура, яка використовується в композиті для жорсткості та міцності. Зазвичай вони виготовляються зі скляних, вуглецевих, арамідних і борних волокон. Діаметр волокна зазвичай коливається від 5 мкм до 20 мкм [16].

Існують інші поширені типи армування, такі як суцільний вуглецевий джгут, склоровінг, арамідна пряжа та ткане полотно. Властивості волокон наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Властивості композитних армуючих волокон.

| Матеріал | Модуль міцності на розтяг (E) (ГПа) | Міцність на розрив (δ) (ГПа) | Подовження (ϵ) (%) | Щільність (ρ) (мг/м ³) | Питомий модуль (E/ ρ) (мг/кг) | Вартість (\$/кг) |
|-----------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------------|------------------|
| E-glass | 72,4 | 2,4 | 2,6 | 2,54 | 28,5 | 1,1 |
| S-glass | 85.5 | 4.5 | 2.0 | 2.49 | 34.3 | 22...33 |
| кевлар | 124 | 3.6 | 2.3 | 1.45 | 86 | 22...33 |
| HS графіт | 253 | 4.5 | 1.1 | 1,80 | 140 | 66...110 |
| HM графіт | 520 | 2.4 | 0,6 | 1,85 | 281 | 220...660 |

Термін E-glass за кордоном використовують для позначення алюмо-боросилікатного скла із вмістом лужних елементів менше 2 %. Цей вид скла знайшов найширше застосування у промисловості. З такого скла виявилось можливим отримувати найтонші нитки (волокна) великої довжини.

S Glass Fiber - це високоефективний скловолоконний матеріал із високою жорсткістю та міцністю, який знайшов широке застосування у виготовленні конструкційних матеріалів з високими вимогами до міцності і стійкості до корозії.

Арамідне волокно або кевлар може бути у вигляді нитки з якої робиться арамідна тканина. В основному використовують як композиційний матеріал, що виготовляється з використанням різних смол. Тканина арамід відносять до важкогорючих, самі волокна жовтого кольору, але, на відміну від карбону, можуть фарбуватися в будь-який колір. Арамідні волокна застосовують і в автомобільній промисловості при тюнінгу автомобілів, ним посилюють аеродинамічні обважування або силові конструкції (наприклад захист двигуна).

Вибір полімерної матриці.

Вибір матриці практично базується на теплових властивостях, вартості, доступності, проблемах навколишнього середовища та здоров'я, а також здатності обробляти матеріал.

Композитна матриця функціонує як сполучна речовина, що передає навантаження через волоконну мережу, таким чином зберігаючи орієнтацію волокон і захищаючи окремі нитки, коли волокна розриваються.

При виборі смоли; суттєвим аспектом має бути жорсткість (модуль пружності), текучість і межа міцності, а також властивості міцності.

Дві основні системи полімерних смол, які використовуються в автомобільній промисловості – це реактопласти та термопласти. У застосуванні конструкційних композитів, де необхідні хороші механічні та термічні властивості, а також хороше зчеплення з арматурою з легкою обробкою, домінують термореактивні полімери з низькою вартістю та низькою в'язкістю.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 30 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Термопласти мають високу в'язкість і погане зчеплення. Однак він ефективно використовується в областях, де міцність, низькі викиди летючих речовин і можливість вторинної переробки є важливими.

Вибір смоли включає кілька факторів. Наприклад, при виборі конкретної смоли слід враховувати такі хімічні характеристики; в'язкість смоли, температура склування, час гелеутворення, час затвердіння, ін'єкція, термічна стабільність, стійкість до навколишнього середовища та викид летючих речовин під час обробки, щоб отримати оптимальну функціональність цієї конкретної смоли.

Механічні властивості, які слід враховувати при виборі матриці, це в'язкість до міжшарового руйнування, міцність і модуль пружності в певних напрямках, а також стійкість до навколишнього середовища.

Епоксидні, поліефірні та вінілові ефіри є термореактивними смолами, які зазвичай використовуються у виробництві композитів, оскільки вони забезпечують задовільний просочення армуючих волокон, таких як скловолокно, вуглецеве волокно або кевлар, під час робочих процесів, коли використовуються як смоли.

Матричні матеріали.

Як обговорювалося раніше, композити виготовляються з армуючих волокон і матричних матеріалів. Матриця оточує волокна і дозволяє волокнам витримувати максимальне навантаження з меншим модулем і більшим подовженням.

Вибір матриці повинен ґрунтуватися на хімічних, термічних, електричних вимогах, вимогах щодо горючості, вартості, навколишнього середовища, продуктивності та виробництва. Матриця визначає робочу робочу температуру композиту та виробничу обробку.

Епоксидні смоли це поліефірні смоли, що містять більше ніж одну епоксидну групу, яку можна перетворити в термореактивну форму. Епоксидна група складається з кисню та двох атомів вуглецю в їх

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 31 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

найпростішому представленні [17]. На рис. 2.1 показана найпростіша епоксидна смола в тричленному кільці ідеалізованої хімічної епоксидної структури.

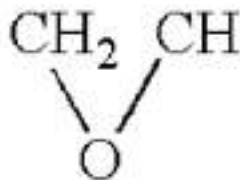


Рисунок 2.1 – Ідеалізована хімічна структура епоксидної смоли.

Епоксидні смоли є найбільш широко використовуваними смоляними матеріалами, оскільки вони універсальні з широким спектром властивостей і можливостей обробки. Їого можна комбінувати з іншими матеріалами або змішувати з іншими епоксидними смолами, щоб відповідати вимогам до високих характеристик. Швидкість затвердіння можна змінювати.

Типові властивості епоксидної смоли наведені в таблиці 2.2 [18].

Таблиця 2.2 – Типовий діапазон властивостей епоксидних смол.

| | |
|--|-------------|
| Питома вага | 1,2 – 1,3 |
| Модуль міцності (МПа) | 2500 – 4500 |
| Міцність на розрив (МПа) | 50 – 150 |
| Коефіцієнт теплового розширення, $10^{-6}\text{мм}/^{\circ}\text{C}$ | 45 – 70 |
| Вологопоглинання (% за 24 години) | 0,05 – 0,15 |

Під час процесів затвердіння він не стає летким, незважаючи на присутність розчинника. Затвердіння епоксидних груп може бути ініційовано

між самими молекулами епоксиду або реакцією між епоксидною групою та іншими реакційноздатними молекулами з або без присутності каталізатора.

Затвердіння епоксидної смоли можна назвати екзотермічним, оскільки під час процесів виділяється тепло, що призводить до зменшення розмірів молекул. Вплив вологи на епоксидні смоли призводить до деградації, що спричиняє зниження температури склування через сильні водневі зв'язки, і, отже, в'язкість і міцність епоксидних смол нижче температури склування залежить від механізму та рухливості коротких сегментів у твердий стан.

Епоксидні смоли є некристалічними, і затверділі смоли зазвичай знаходяться в діапазоні структурних застосувань, який є нижчим за температуру теплової деформації або температури склування.

Епоксидні смоли мають хороші електроізоляційні властивості з діелектричною постійною 3-6, а також низьке розсіювання, коефіцієнт втрат, хорошу дугову та об'ємну стійкість. Однак на ці властивості впливає вологість і підвищення температури.

Область застосування епоксидних смол широка. Використовується для клеїв, склеювання, композитів, ламінатів, покриттів, формування та обробки. Композити на основі епоксидних смол забезпечують хороші характеристики при підвищених і кімнатних температурах і можуть працювати при температура приблизно від 90 до 120 °С. Епоксиди бувають різних форм, таких як рідкі, тверді та напівтверді форми.

Рідкі епоксидні смоли використовуються у виробничих процесах, таких як намотування ниток, пултрузія, ручне укладання та процеси з різними армуючими волокнами, такими як скло, вуглець, арамідний бор тощо. Епоксидні смоли, як правило, крихкі, але вони стають жорсткішими завдяки додаванню термопластів, і це більше дорожче, ніж вінілові ефіри та поліефіри.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 33 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Поліефірні смоли, як правило, виготовлені з двоосновної органічної кислоти та двоатомного спирту. Їх можна класифікувати як насичений поліефір, такий як поліетилентерефталат і ненасичений поліефір.

Структура ненасиченого полімеру складається з взаємно роз'єднаних довгих ланцюгів лінійних полімерів і досягається реакційноздатними та полімеризованими мономерами, такими як стирол, розташовані на ненасичених зв'язках, рис. 2.2.

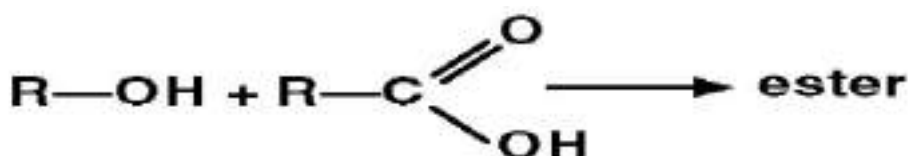


Рисунок 2.2 – Хімічна структура поліефіру.

Стирол розчиняє поліестер, що знижує в'язкість, тим самим прискорюючи обробку; однак пероксид бензоїлу і пероксид метилетилкетону зазвичай використовуються як каталізатори, які спричиняють затвердіння смоли.

Потім каталізатор розкладається під час реакції з поліефірною смолою з утворенням вільних радикалів, і, таким чином, температура обробки та кількість каталізатора можуть контролювати швидкість полімеризації.

Чим вища температура або більше каталізатора, тим швидше відбувається реакція. Коли смола перетворюється з рідкої на крихку тверду речовину, може знадобитися додаткове затвердіння при вищій температурі, оскільки додаткове затвердіння підвищує температуру переходу T_g смоли за рахунок повного зшивання.

Ортофталеві поліефіри є екологічно чутливими та мають обмежені механічні властивості, але ізофталеві поліефіри мають відмінну стійкість до навколишнього середовища та покращені механічні властивості. Зазвичай використовуювані властивості термореактивного поліестеру, таблиця 2.3.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 34 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 2.3 – Загальні властивості терморективного поліефіру.

| | |
|---|-------------|
| Питома вага | 1,1 – 1,4 |
| Модуль міцності (МПа) | 2000 – 4400 |
| Міцність на розрив (МПа) | 33–104 |
| Коефіцієнт теплового розширення, $10^{-6}\text{мм}^{\circ}\text{C}$ | 55 – 100 |
| Вологопоглинання (% за 24 години) | 0,15 – 0,65 |

Поліефіри мають чудову корозійну стійкість і є недорогими смолами, а робочі температури для них нижчі, ніж для епоксидних смол. Вони можуть бути терморективними або термопластичними смолами і широко використовуються у виробничих процесах, таких як намотування ниток, тощо.

Ненасичені складні поліефіри можна отримати шляхом реакції ненасичених двофункціональних органічних кислот з двофункціональним спиртом. Під час процесу затвердіння або зшивання подвійні вуглець–вуглецеві зв'язки в молекулах ненасиченого поліефіру та адитивні речовини, такі як молекули стиролу, утворюють місце зшивання, таким чином, реакційноздатні мономери, такі як стирол, додаються в діапазоні від 30 до 50% по масі. В іншому випадку використання стиролу в поліестері було зменшено через зростаючі проблеми зі здоров'ям.

Вінілові складні ефіри утворюються в результаті хімічної реакції ненасиченої органічної кислоти з молекулою, що закінчується епоксидом. Вони дещо подібні до поліефіру за своєю молекулярною структурою, але відрізняються головним чином своїми реакційними позиціями, рис. 2.3.

Реакційноздатні центри вінілового ефіру добре розташовані на кінці ланцюга, і вся довжина молекулярного ланцюга легко поглинає ударні навантаження, що робить його міцнішим і пружнішим, ніж поліестер.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 35 |

Вони мають гарну хімічну та корозійну стійкість і широко використовуються в автомобільній промисловості та інших масштабних додатках, де вартість має вирішальне значення при виборі матеріалу. Таким чином, вініловий ефір має вищі фізичні властивості, ніж поліестер, і коштує дешевше, ніж епоксидні смоли.

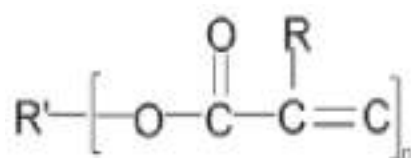


Рисунок 2.3 – Хімічна структура вінілового ефіру.

Акрилові ефіри розчиняють у стирольному мономері для отримання вінілових ефірних смол, які затверджуються органічними пероксидами. Тому композитний продукт, що містить смолу вінілового ефіру, може володіти високою міцністю, а також мати чудову корозійну стійкість.

Затверділий вініловий ефір забезпечує підвищену пластичність і міцність, оскільки в молекулах вінілового ефіру менше ненасичених ділянок для зшивання, ніж у поліефірі чи епоксидних смолах. Зазвичай використовувані властивості термореактивних вінілових ефірів наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Загальні властивості термореактивного вінілового ефіру.

| | |
|--|-------------|
| Питома вага | 1,1...1,3 |
| Модуль міцності (МПа) | 3000...3700 |
| Міцність на розрив (МПа) | 70...81 |
| Коефіцієнт теплового розширення, $10^{-6} \text{мм}^{\circ}\text{C}$ | 50...55 |

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КВРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 36 |

2.2 Виробничі процеси формування.

2.2.1 Ручне формування.

Ручне укладання є одним із найдавніших домінуючих методів відкритого формування, який використовується для виготовлення композитних деталей, таких як спойлери. Це трудомісткий метод, який передбачає використання зміцнюючих матеріалів, які часто мають форму нарізаного пасма або вирівняної тканини. У цих процесах переважно використовуються епоксидні, поліефірні та вінілефірні смоли.

Вони вручну встановлюються в односторонню жіночу форму з нанесенням рідкої смоли всередину форми та армуванням, розміщеним зверху.

Армуючий матеріал – це частина композиту, яка забезпечує бажану жорсткість, міцність і здатність витримувати прикладене навантаження.

Затримане повітря потім поступово видаляється за допомогою ручного накладання валиків для завершення структури ламінату. Ця робота часто виконується при кімнатній температурі для ефективного та ефективного затвердіння.

Процес ручного виготовлення деталі зображено на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Процес ручного укладання.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 37 |

На даній схемі композитна частина формується шляхом нанесення армуючих шарів і рідкої смоли та валика для рівномірного розподілу смоли повністю на поверхні та для видалення захопленого повітря перед звільненням плівки.

Як зазначалося раніше, процес проводиться при кімнатній температурі. Смолу часто залишають при цій температурі на добу для повного затвердіння, але час затвердіння можна скоротити, обдуваючи виріб теплим повітрям, застосовуючи валик для натискання на нього та використовуючи гель як затверджувач.

Основні етапи обробки, які використовуються під час ручного накладання для отримання прийнятної якості поверхні, значною мірою передбачають використання антиадгезійного агента, який забезпечує легше видалення частини під час виймання з форми, і, зокрема, недостатнє застосування антиадгезійного агента призведе до того, що деякі деталі прилипнуть досередини матриці.

Гель наноситься для створення готової поверхні, і йому необхідно достатньо затвердіти перед нанесенням зміцнюючих шарів по одному. Армуючі шари, розміщені на поверхні форми, змочуються каталізованою смолою та рівномірно розподіляються за допомогою валика або щітки. Після цього кінцева частина витримується при кімнатній або підвищеній температурі.

Процеси ручного укладання мають деякі переваги, оскільки виробництво продукту є здебільшого простим і універсальним завдяки орієнтації волокон, а вартість обладнання майже незначна. Це підходить для невеликих обсягів виробництва з дуже низькими капіталовкладеннями.

Основні обмеження методів ручного укладання полягають у тому, що процес є трудомістким і потребує багато кваліфікованої роботи для отримання якісної кінцевої деталі. Якість готової деталі здебільшого не є визначальною через відсутність прямого контролю над товщиною деталі,

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 38 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

вмістом волокна, що означає, що за допомогою цього процесу не можна виготовити велику об'ємну частку волокна, і існує неточність розмірів при виготовленні деталі.

2.2.2 Процес розпилення.

Розпилення – це ще одна форма методу відкритої форми, подібна до ручного накладання, але відмінність полягає в способі та способі нанесення волокон і смоляних матеріалів на форму. У цьому процесі для нанесення смоли та армування використовується пістолет - розпилювач, на відміну від валика, який використовується в процесі нанесення вручну.

У цьому методі використовується рубане армування зі скловолокна та каталізована смола, які наносяться на форму. Пістолет - розпилювач одночасно нарізає безперервне волокно на задану довжину від 10 до 40 мм і вдавлює його через каталізовану смолу на форму. Процес розпилення набагато швидший, ніж нанесення вручну. Робота проводиться при кімнатній температурі для затвердіння.

У цьому процесі спочатку на прес - форму наноситься роздільний агент, а потім гелеве покриття. Гель залишають на кілька годин, часто на 2 години, поки він не затвердіє. Потім за допомогою пістолета розпилювача суміш волокнистої смоли наноситься на поверхню підготовленої форми, рисунок 2.5.

У цьому процесі отримана товщина залежить від малюнка розпилення. Далі валики або щітки використовуються для видалення захопленого повітря, а також для забезпечення хорошого змочування волокон, а потім дають затвердіти при кімнатній температурі.

Основні етапи процесу розпилення передбачають використання воску та полірування на формі для легкого вилучення. Гелеве покриття наноситься

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 39 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

на поверхню форми, і йому дають достатньо затвердіти перед укладанням волокнистих матеріалів.

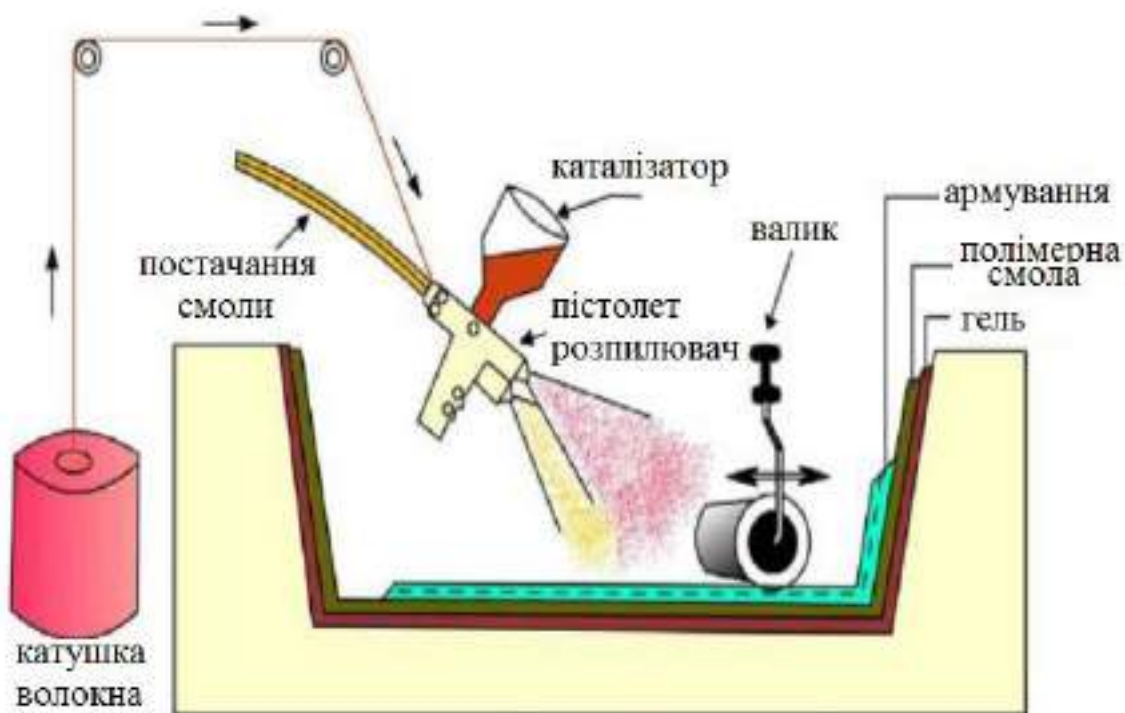


Рисунок 2.5 – Процеси розпилювального формування.

Ще один нанесений шар – це бар’єрне покриття, яке поміщають у піч, щоб запобігти відбитку волокон через гелеве покриття під час затвердіння.

Переваги розпилення під час обробки величезні порівняно з методами ручного нанесення. Ця техніка підходить для виготовлення деталей невеликого та середнього обсягу з використанням недорогих матеріалів і, зрештою, з використанням менш дорогого інструменту.

Готові деталі здебільшого мають гарну поверхню з одного боку, тоді як інша сторона дещо шорстка, і використовувати цей метод для виготовлення деталей із високими структурними вимогами не ідеально. У цьому методі важко контролювати об’ємну частку волокна, а також товщину.

3. ПРОЦЕСИ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ СПОЙЛЕРУ

3.1 Аналіз процесу розробки продукту.

Існують різні фази, які проходить продукт після того, як ідея була концептуалізована, перш ніж фізичний продукт буде спроектований або виготовлений. Основною метою цих етапів є мінімізація потенційних помилок і зниження витрат на продукт [19].

«Процес проектування - це серія дій, за допомогою яких інформація, відома та записана про спроектований об'єкт, додається, уточнюється, модифікується або робиться більш чи менш певною» [19].

Процес проектування стає успішним із концептуалізацією ідеї та звуженням ідеї за допомогою детальних специфікацій, щоб зібрану інформацію можна було використати для розробки необхідного об'єкта чи спойлера [19].

Етап концептуального проектування. Ця фаза ініціюється клієнтом або ринковою потребою в продукті з пов'язаними функціональними вимогами та вимогами до продуктивності, які визначаються та аналізуються групою з різних відділів, таких як інженерний відділ, виробництво, матеріали, маркетинг, продажі, фінанси та іноді клієнти.

Команда перетворює потреби клієнтів у тривимірну форму та розмір продукту, не звертаючи особливої уваги на геометрію, виробництво чи технічні деталі.

Причиною цього є створення попереднього проекту та сценаріїв виробництва, а також оцінка та вивчення технічних можливостей, щоб оцінити очікувану вартість. Таким чином, оцінюється дослідження ринку з іншими типами конкурентоспроможних продуктів, а потім переглядаються попередні розробки продукту та процесу, вартість проекту та повернення

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 41 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

інвестицій, що призводить до остаточного рішення щодо початку проекту або його припинення.

Детальний проект. На цьому етапі використовуються різні схеми, створені на концептуальному етапі, щоб створити кілька концепцій продукту, що призводить до багатьох варіантів дизайну для спойлера. Повне креслення виконується з детальними розмірами за допомогою програмного забезпечення Solidworks. Матеріал і технічні характеристики також добре відзначені.

Далі проектний продукт перевіряється на функціональність, продуктивність та інші вимоги. Специфікації продукту та матеріалів, які спостерігаються та розроблені, використовуються для виготовлення частин прототипу.

Таким чином, коли деталь відповідає необхідним розмірам, прототип перевіряється на продуктивність та інші функціональні можливості. Метою випробувань є визначення конструктивних можливостей продуктів, таких як вплив екстремальних температур, вплив рідини та надійність роботи спойлера з часом.

Мета тестування прототипу полягає в тому, щоб дати цінну інформацію про здійсненність дизайну та адекватність процесу проектування перед тим, як залучити ресурси до наступних етапів, як вказівки та напрямки для майбутнього виробництва.

На рисунку 3.1 нижче показано відповідні етапи, які необхідно виконати під час розробки та виробництва продукту [20].

Продукти необхідно повністю оцінити, щоб перевірити, чи вони повністю відповідають конструктивним особливостям і вимогам, які є важливими для клієнтів.

Таким чином, такі процеси відбору, як аналіз «П'ю» та інші методи, можуть полегшити завдання вибору найкращого дизайну. Метод «П'ю»

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 42 |

Таблиця 3.1 – Концепції дизайну для оцінювання.

| Фактори | Вплив (%) | Дизайн «А» | Дизайн «В» | Дизайн «С» |
|-------------------------|-----------|------------|------------|------------|
| Вага | 15 | 3 | 4 | 3 |
| Час складання | 15 | 3 | 5 | 3 |
| Вартість | 20 | 4 | 5 | 3 |
| Шум | 5 | 3 | 3 | 4 |
| Продуктивність | 10 | 3 | 4 | 3 |
| Надійність | 5 | 2 | 4 | 3 |
| Кількість деталей | 10 | 2 | 4 | 3 |
| Простота обслуговування | 8 | 2 | 5 | 3 |
| Міцність | 7 | 3 | 4 | 3 |
| Естетика | 5 | 3 | 4 | 4 |
| Всього | 100 | 2,92 | 4,38 | 3,1 |

Також проводяться термоциклічні випробування, і результати випробувань, проведених на спойлері за двох екстремальних температур і зіткнення з камінням, допомагають зрозуміти ефективність і стабільність продукту спойлера.

3.2 Розміри та властивості композитного заднього спойлера.

Для виготовлення заднього спойлера використовуються скловолокно та поліефірна смола (рис. 3.2). Властивості композитів здебільшого визначаються їх хімічною та механічною взаємодією з іншими комбінованими матеріалами.

Армуючий матеріал або волокно забезпечує міцність і жорсткість композиту, тоді як матриця додає жорсткості та стійкості до навколишнього середовища [19].

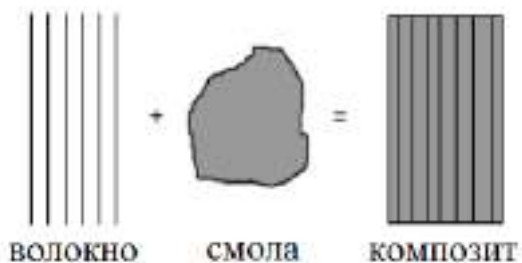


Рисунок 3.2 – Композитне утворення.

Матеріали зі скловолокна виготовляються шляхом поєднання двох або більше матеріалів для отримання унікальної комбінації властивостей матеріалу. У цьому експерименті армований волокнами композитний матеріал, який використовується в основному як основний структурний компонент, є Е - скловолокно.

Електронне скло виготовлено з безперервної нитки ниток, які скручуються в пряжу. Він відносно легкий з помірною міцністю на розтяг і стиск з високою міцністю і стабільністю розмірів. Невелика вага скловолокна робить його ідеальним і довговічним для таких застосувань, як виготовлення задніх спойлерів.

Він має чудові електричні властивості та гнучкість конструкції, що забезпечує оптимальну продуктивність. Це робить його чудовим матеріалом для використання в ситуаціях, коли потрібна міцність і високий питомий електричний опір.

Скловолокно має низьке поглинання вологи та на нього не впливає більшість хімічних речовин, таких як солоня вода та кислотний дощ, що робить його екологічно безпечним, і його можна формувати у складні форми, таким чином зменшуючи час складання та обробки, а також витрати на

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 45 |

виробництво. В таблиці 3.2 і 3.3 наведено список деяких хімічних і механічних властивостей Е–скловолокна [21].

Таблиця 3.2 – Хімічні властивості Е–скловолокна.

| | |
|--------------------------------------|-------|
| SiO ₂ % | 52–56 |
| B ₂ O ₃ % | 5–10 |
| Al ₂ O ₃ % | 12–16 |
| MgO % | 0–5 |
| CaO % | 16–25 |
| Na ₂ O+K ₂ O % | 0–2 |
| ZnO % | 2–5 |
| Fe ₂ O ₃ % | 0–0,8 |
| TiO ₂ % | 0–4 |

Таблиця 3.3 – Механічні властивості Е–скловолокна.

| | |
|-------------------------------------|------|
| Щільність (г/см ³) | 2,58 |
| Міцність на розрив (МПа) при 23 °С | 3445 |
| Міцність на розрив (МПа) при 196 °С | 5310 |
| Міцність на розрив (МПа) при 538 °С | 1725 |
| Міцність на розрив (МПа) при 371 °С | 2620 |
| Модуль пружності (ГПа) при 538 °С | 81,3 |
| Модуль пружності (ГПа) при 23 °С | 72,3 |
| Відносне видовження % | 4,8 |

Конструкція та форма спойлера відповідають автомобільному профілю НАСА, а його загальна довжина становить 1400 мм. Спойлер

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КВРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 46 |

сконструйований у вигляді пружинного об'єкта, встановленого безпосередньо під опорою або підставками, прикріпленими до нього.

Пружина - це імпровізоване кріплення, яке суттєво допомагає спойлеру працювати автоматично при натисканні кнопки збільшення або зменшення кута атаки.

Розміри заднього спойлера наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Розміри спойлера.

| Розмір | Одиниці (мм) |
|----------------------------|--------------|
| Довжина | 1400 |
| Ширина | 206,9 |
| Відстань між двома опорами | 804,5 |
| Товщина | 25,80 |
| Висота опори | 48,20 |

Крім того, стільниковий матеріал буде використаний як затиснута серцевина для заднього спойлера. Стільниковий сердечник NH-09, який використовується як сендвічний матеріал, забезпечує продукту дуже малу вагу, високу жорсткість і довговічність.

Сота має відмінну жорсткість корпусу, а також покращену продуктивність із чистою структурною масою тіла. Щільність стандартної камери, яка використовується в автомобілях, становить 32 кг/м³ відповідно до специфікацій виробника та процесу виробництва.

Повне креслення виконується відповідно розмірами за допомогою програмного забезпечення Solidworks, рисунок 3.2 і 3.3. Матеріал і технічні характеристики також добре відзначені.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 47 |

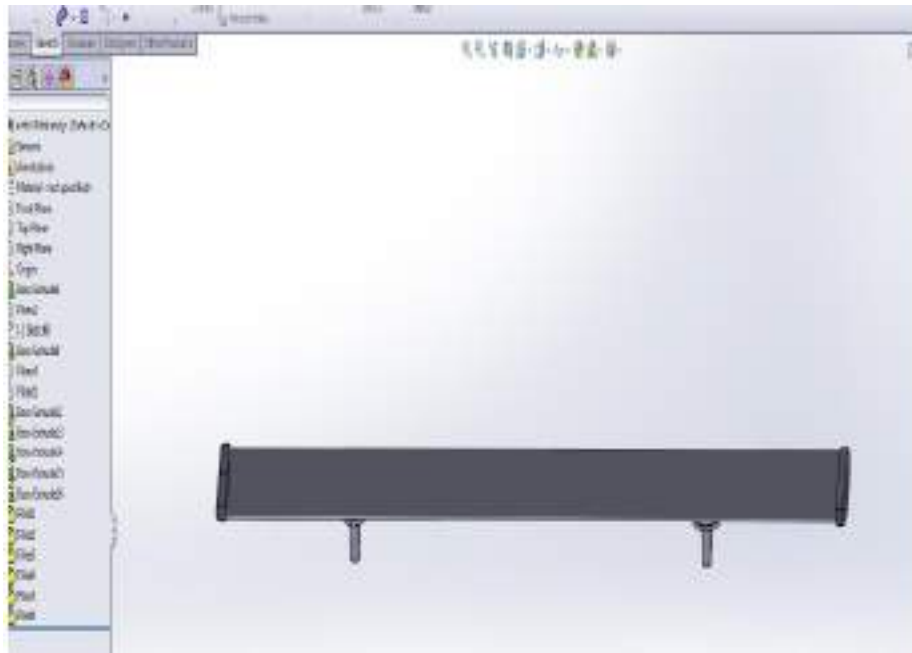


Рисунок 3.2 – Дизайн спойлера в Solidworks.

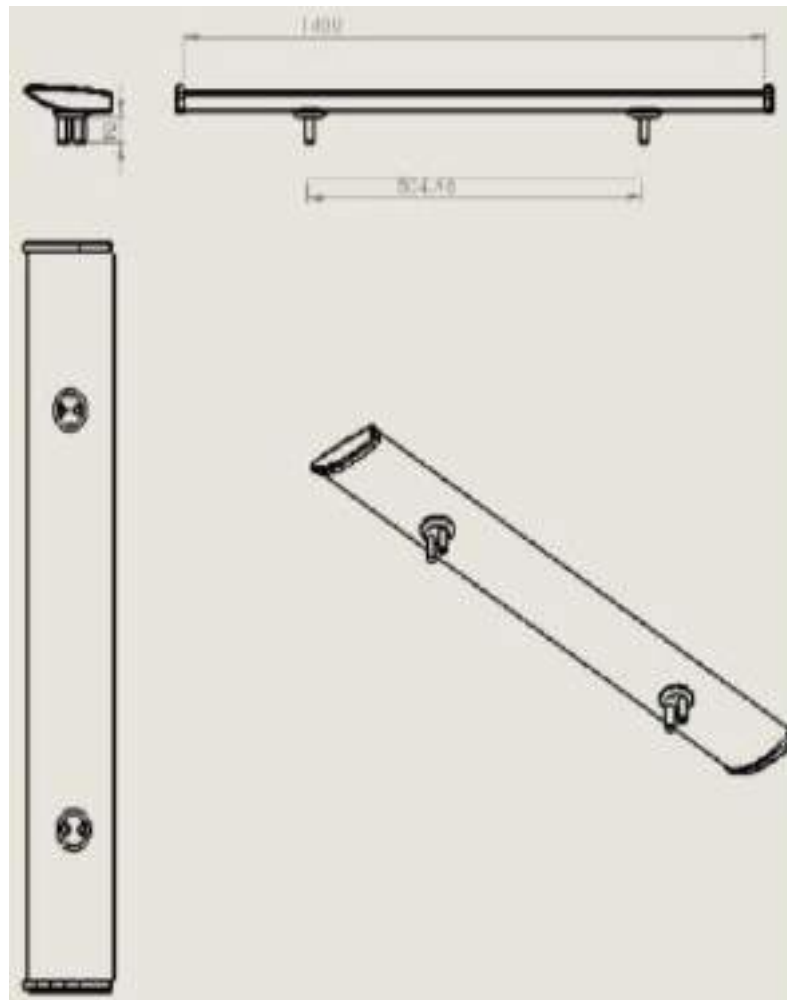


Рисунок 3.3 – Ізометричний рисунок спойлера.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КВРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 48 |

3.3 Виробничий процес.

Спойлер виготовляється за допомогою процесу вакуумної інфузії, за допомогою якого тиск вакууму використовується для введення смоли в ламінат. Таким чином, вакуум зменшує тиск на одному кінці пачки тканини, дозволяючи атмосферному тиску проштовхувати смолу крізь шари скляних волокон. Швидкість і відстань для вливання стопки скловолокна залежатимуть від співвідношення між системами в'язкості смоли щодо швидкості процесу вливання, як зазначено нижче [22]:

$$v \approx \frac{D\Delta P}{\eta}, \quad (3.1)$$

де η - в'язкість смоляної системи, D - проникність тканинного стека, ΔP - градієнт тиску, що діє на настояну смолу.

Таким чином, швидкість інфузійного процесу (v) збільшується зі збільшенням проникності пачки волокон (D) зі збільшенням градієнта тиску ΔP , тоді як вона зменшується зі збільшенням в'язкості (η). Форма складається з двох половин, які є «жіночою» та «чоловічою частинами». Цей процес має краще співвідношення волокна до смоли та створює міцний ламінат із низьким вмістом пустот, ніж інші процеси, такі як ручне ламінування.

Необхідне обладнання, яке використовується в цьому процесі, «Chemlease 75», яке допомагає видалити сміття з підготовленої форми. Відривний шар і роздільна плівка поміщаються всередину форми, тоді як матова частина для потоку поверх знімальної плівки забезпечує легкий прохід або канал для смоли. Вакуум і лінії смоли ретельно налаштовані, щоб уникнути витоку повітря, перш ніж увімкнути вакуум для процесу інфузії. Після цього дві половини будуть акуратно зібрані.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 49 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Підготовка ламінату. Буде підготовлена матриця з кривизною профілю спойлера, а ламінація буде структурована так, щоб вона мала симетричну орієнтацію волокон.

Орієнтація волокна [0+45/90], що буде 4-шаровим виготовленням, розглядається для конструкції. Підготовлений напівпрофіль спойлера буде вставлено в форму, яка є такою ж копією, як і напівпрофіль спойлера.

У «Фундаментальних принципах прогнозування жорсткості композитних матеріалів» коефіцієнт Кренхеля враховує кут волокна в правилі сумішей. Тому:

$$E_c = \eta_s E_f V_f + E_m V_m , \quad (3.2)$$

посилення ефективності:

$$\eta_s = \sum a_n \cos^4 \theta , \quad (3.3)$$

де: E_c - модуль Юнга композиту, E_f - модуль Юнга скловолокна, V_f - об'ємна частка скловолокна, E_m - модуль Юнга матриці, V_m - об'ємна частка матриці.

Отже, коефіцієнт корисної дії для ламінату становить [0+45/90].

Де:

$$\eta_s = \cos^4 \theta , \quad (3.4)$$

$$0^\circ = 1$$

$$45^\circ = 0.7071$$

$$90^\circ = 0$$

Ламінат в напрямку X:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КВРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 50 |

$$(0,65*1) + (0,35*0,25) = 0,7375$$

Ламінат в напрямку У:

$$(0,65*0) + (0,35*0,25) = 0,0875$$

Прогнозування модуля Юнга в напрямку X–У:

$$E_x = \eta_{\sigma} E_f V_f + E_m V_m$$

$$E_f = 25\text{GPa}, \quad E_m = 3.5\text{GPa}, \quad V_f = 0.65, \quad V_m = 0.35$$

$$E_x = (0.07375 * 25 * 10^9 * 0.65) + (3.5 * 10^9 * 0.35) \\ = 13.21\text{GPa}$$

$$E_y = \eta_{\sigma} E_f V_f + E_m V_m$$

$$E_y = (0.0875 * 25 * 10^9 * 0.65) + (3.5 * 10^9 * 0.35) \\ = 2.65\text{GPa}$$

Приготування смоли. Смола, яка використовується в цьому ламінуванні, є поліефірною смолою, яка детально обговорюється у другому розділі. Буде використано поліефірну смолу іноземного виробництва з кодом «R 10-03» через її жорстку ортофталеву природу. Змішаний мономер стиролу буде додано до смоли для зменшення в'язкості смоли. Затверджувач у співвідношенні 100:33 буде змішаний зі смолою, щоб розпочати процес затвердіння, а також створити ретельне зшивання, щоб зробити ламінат жорсткішим.

Процес ламінування. Попередньо орієнтований напівпрофіль буде покритий плівкою, щоб допомогти від'єднати ламінат від вузла, тоді як

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 51 |

поверх нього накладається знімна плівка, яка служить каналом для легкого потоку смоли. Потім ламінат буде обгорнуто текучим килимком, який рівномірно допоможе ретельно розподілити смолу по ламінуванню.

Після того, як ламінат накрити вакуумним пакетом і остаточно заклеїти клейкою стрічкою, ламінат складається з вхідних і вихідних трубок для ін'єкції смоли, а також для випускних повітряних пасток.

Це супроводжувалося б фіксацією «чоловічої» форми проти «жіночої» форми, щоб закрити та завершити її формування. Смола обережно вивільняється у форму для рівномірного розподілу по профілі рами, а потім відкривається вакуум для початку процесу інфузії. Остаточне шліфування та обрізання непотрібних частин слід виконати після процесу ламінування.

3.4 Притискна сила заднього спойлера.

У «Теорії секцій крила» підйомна сила крила виражається як:

$$f_L = \frac{1}{2} \rho v^2 S c_L, \quad (3.5)$$

Але, оскільки притискна сила є антиліфтовою, то притискну силу спойлера можна записати як:

$$D_f = \frac{1}{2} \rho v^2 A c_L, \quad (3.6)$$

де: ρ - густина рухомої частинки повітря, v - швидкість потокового вітру, c_L - коефіцієнт підйомної сили.

Прийнявши швидкість вітру над спойлером 150 км/год, що дорівнює 42 м/с, а також враховуючи кут атаки 8° ; можна розрахувати коефіцієнт підйому. Звалювання зазвичай відбувається в межах граничних шарів при

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 52 |

високій швидкості руху частинок повітря над поверхнею спойлера / крила в результаті затримки повітря.

Таким чином, коефіцієнт підйому (c_L) = $2\Pi a$, де «а» в радіанах; отже, $8^\circ = 0,14\text{рад}$.

$$c_L = 2\Pi (0.14)$$

$$c_L = 0.873$$

Профіль спойлера має еліптичну форму збоку, тому площа його бокового огляду може бути розрахована як:

$$A = \Pi \cdot C_p \cdot C_t \quad , \quad (3.7)$$

де, C_p - проліт спойлера, C_t - відстань від кореня до кінчика.

$$A = 3,142 \cdot 1,4 \cdot 0,2069$$

$$A = 0,910 \text{ м}^2$$

При нормальному атмосферному тиску і швидкості повітря 150 км/год; густина частинок повітря складає $1,184 \text{ кг/м}^3$.

Тому притискна сила, необхідна для дії на спойлер:

$$D_f = \frac{1}{2} (1.184) (42)^2 (0.910) (0.873)$$

$$D_f = 829.614 \text{ N}$$

Для того, щоб визначити тип потоку в межах встановленого обмеження швидкості, розраховується число Рейнольдса.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КВРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 53 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} \quad , \quad (3.8)$$

Враховуючи частинки повітря при 1 атмосферному тиску при 25 °С, кінематична в'язкість становить $1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.

Однак ширина хорди спойлера = 206,9 мм = 0,2069 м. Тоді:

$$Re = ((1.184) (42) (0.2069)) / (1.5 \cdot 10^{-5})$$

$$Re = 6.7 \cdot 10^5$$

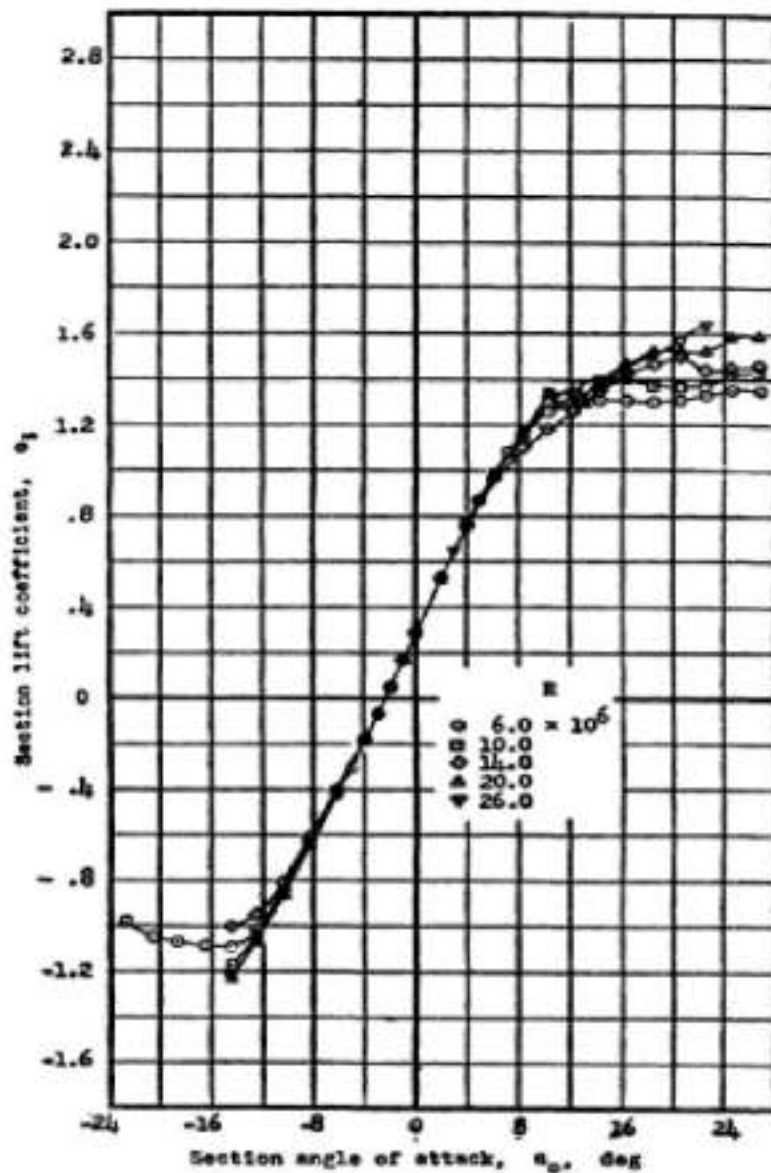


Рисунок 3.4 – Залежність коефіцієнта підйомної сили проти кута атаки від числа Рейнольда.

Отже, за результатами числа Рейнольдса та коефіцієнта підйомної сили (рисунок 3.4) течія є турбулентною.

Таким чином, максимальне навантаження на спойлер, коли на нього діє рівномірне навантаження 829,614 Н притискної сили, можна розрахувати за допомогою наведеної нижче геометрії (рисунок 3.5).

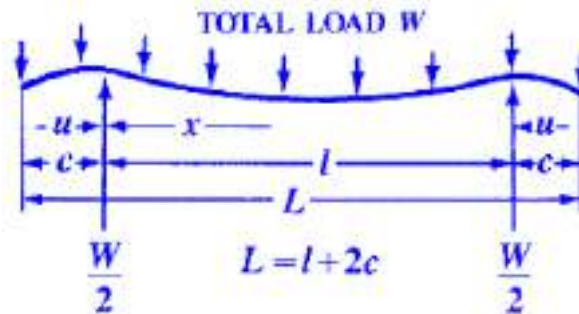


Рисунок 3.5 – Прогин балки з рівномірним навантаженням/притискною силою.

$$\delta_{\max} = \frac{F}{211} [\text{с}]^2, \quad (3.9)$$

але

$$I = \frac{\pi st^3}{4}, \quad (3.10)$$

де: δ - напруження в поперечному перерізі, що оцінюється, F - притискна сила, що діє на спойлер, x - відстань, як зазначено, u - певна відстань, як зазначено, l - відстань між двома опорами, L - відстань від нейтральної осі до крайнього краю волокна, S - ширина профілю, t - товщина профілю.

Найближчою формою профілю при погляді збоку вважається еліптичний суцільний поперечний переріз (рис. 3.6). В'язкість і жорсткість будь-якого поперечного перерізу піддається напруженням та моменту інерції маси відносно центру стероїда. Отже, момент інерції маси відносно центроїда поперечного перерізу тіла, якщо взяти збоку, подається як:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 55 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$I_{\text{solid}} = I_y + I_z, \quad (3.11)$$

$$I_y = \frac{\pi s t^3}{4} \quad I_z = \frac{\pi t s^3}{4},$$

$$I_{\text{solid}} = \frac{\pi s t (s^2 + t^2)}{4} = \frac{\pi (103.42)(12.9) (103.42^2 + 12.9^2)}{4} = 11.382 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Еліптичний твердий поперечний переріз (Жорсткість при крученні)
 $= G I_{\text{solid}}$.

Де: – G, модуль зсуву Е–скловолокна.

Таким чином, жорсткість на кручення = $(30 \cdot 10^9) \cdot (11,382 \cdot 10^6) = 3,414 \cdot 10^{17}$ Нмм/рад.



Рисунок 3.6 – Вид збоку аеродинамічного профілю.

Теоретичний розрахунок прогину (y) між точками опори та зовнішнім кінцем можна зробити таким чином:

$$y = \frac{F x (l-x)}{24 E I} [x (l-x) + l^2 - 6c^2], \quad (3.12)$$

$$y = \frac{829.614 \cdot 0.51 (0.805 - 0.51)}{24 (25 \cdot 10^9) (1.8210 \cdot 10^{-4}) (0.8045)} [0.51 (0.805 - 0.51) + 0.805^2 - 6 \cdot 0.29^2]$$

$$y = 4,149 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КВРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 56 |

3.5 Моделювання та аналіз спойлера.

Зовнішній потік повітряних частинок навколо автомобіля вважається ламінарним або турбулентним залежно від швидкості автомобіля, як обговорювалося раніше в четвертому розділі вище. Керівні чисельні розв'язані рівняння, які використовуються для прогнозування аеродинамічних особливостей двовимірного нестисливого стаціонарного стану, який об'єднується з рівняннями безперервності та імпульсу, наведеними нижче в $k-\epsilon$ моделі турбулентності [23]:

$$\frac{\partial \mu}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (3.13)$$

$$\rho \left(\mu \frac{\partial \mu}{\partial x} + v \frac{\partial \mu}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 \mu}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \mu}{\partial y^2} \right), \quad (3.14)$$

$$\rho \left(\mu \frac{\partial \mu}{\partial x} + v \frac{\partial \mu}{\partial y} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right). \quad (3.15)$$

Модель турбулентності $k-\epsilon$ ілюструє два члени, де k символізує турбулентну кінетичну енергію транспортаних змінних, тоді як другий транспортаний член $-\epsilon$ є турбулентною дисипацією, яка визначає швидкість дисипації турбулентної кінетичної енергії.

Симуляція статичного навантаження застосована до спойлера, який відповідає чотиризначному аеродинамічному профілю НАСА з глибоким вигнутим тонким перерізом за допомогою програмного забезпечення Nastran.

Програмне забезпечення Nastran написано мовою FORTRAN, яка є імперативною мовою програмування, яка використовується для оцінки наукових і числових обчислювальних моделей.

З математичної точки зору аналіз кінцевих елементів (FEA) забезпечує чисельні наближені розв'язки диференціальних рівнянь у частинних

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 57 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

похідних, щоб мінімізувати функцію помилок і отримати стабільне рішення. Спойлер аналізувався з рівномірним навантаженням 829,614 Н, що є максимальною притискною силою розробленого спойлера. Це призвело до максимального напруження 2,309 МПа при зміщенні 4,451 мм. Подальший аналіз проводився з рівномірним навантаженням від 700 Н до 100 Н з відповідним навантаженням і зміщенням, як показано в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Дані моделювання Nastran спойлера.

| Притискна сила (Н) | Напруження (МПа) | Об'єм (мм) |
|--------------------|------------------|------------|
| 829,614 | 2,309 | 4,451 |
| 700 | 1,949 | 3,755 |
| 600 | 1,670 | 3,219 |
| 500 | 1,392 | 2,682 |
| 400 | 1,113 | 2,146 |
| 300 | 0,835 | 1,609 |
| 200 | 0,557 | 1,073 |
| 100 | 0,278 | 0,536 |

Симуляція була виконана шляхом експорту спойлера, розробленого solidworks, у формат IGES. Симуляція Nastran пропонує можливість створити геометричну сітку спойлера в тривимірних тетраедричних трикутних вузлах. Сітка - це ручка, яка охоплює спойлер. Перед рівномірним навантаженням на гранях точки опори застосовується фіксоване обмеження.

На рисунку 3.7 показано сітчастий спойлер з обмеженням на опорах при рівномірному навантаженні. Максимальне напруження спойлера та максимальний об'єм спойлера при максимальній притискній силі зображено на рисунках 3.8 і 3.9 відповідно.

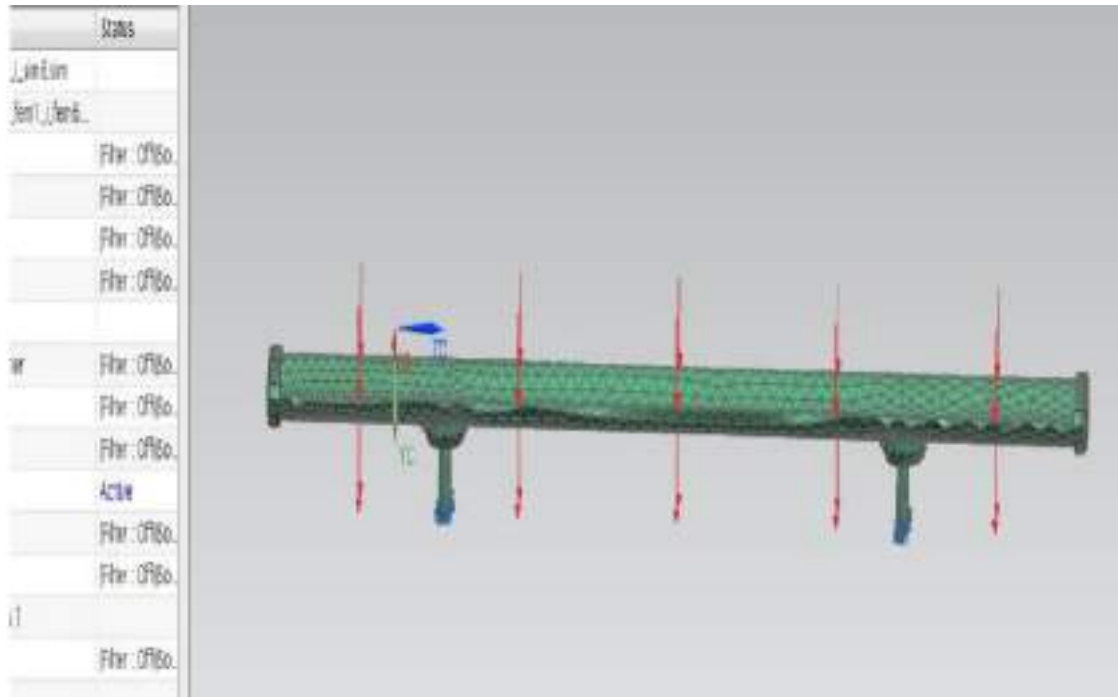


Рисунок 3.7 – Фіксоване обмеження та рівномірне навантаження на сітчастий спойлер.

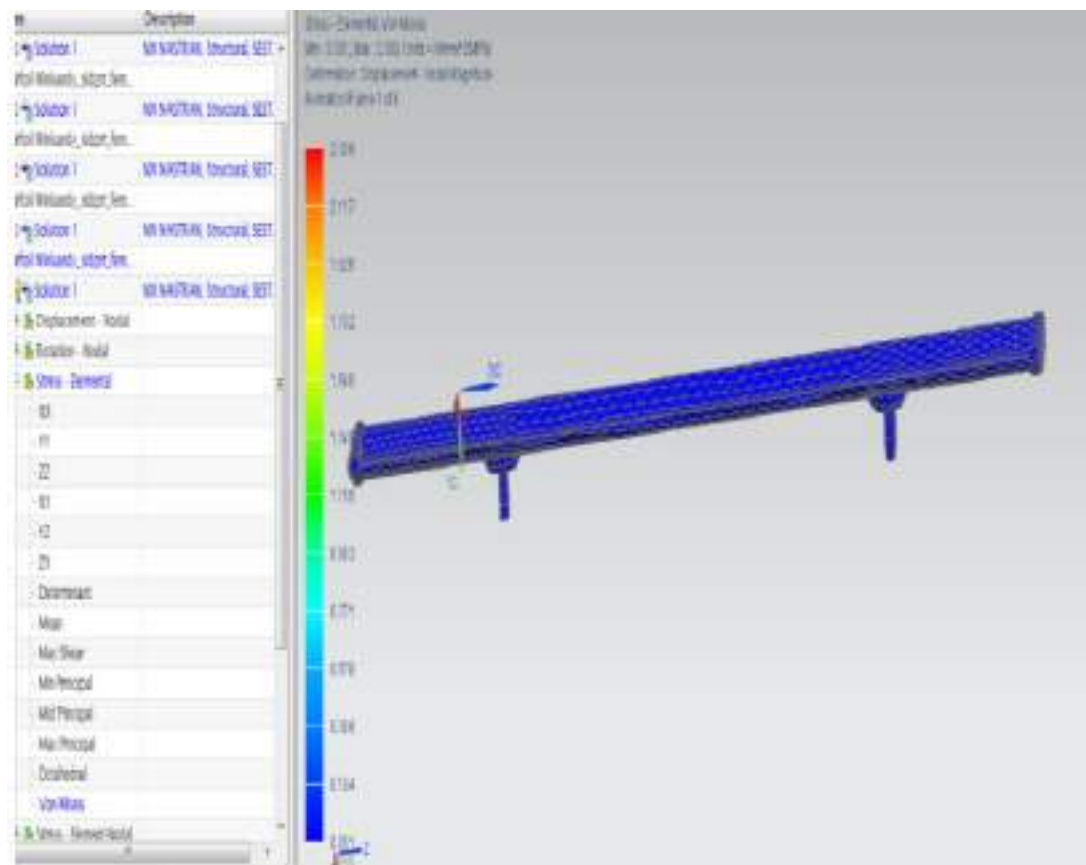


Рисунок 3.8 – Максимальне напруження спойлера при максимальній притискній силі.

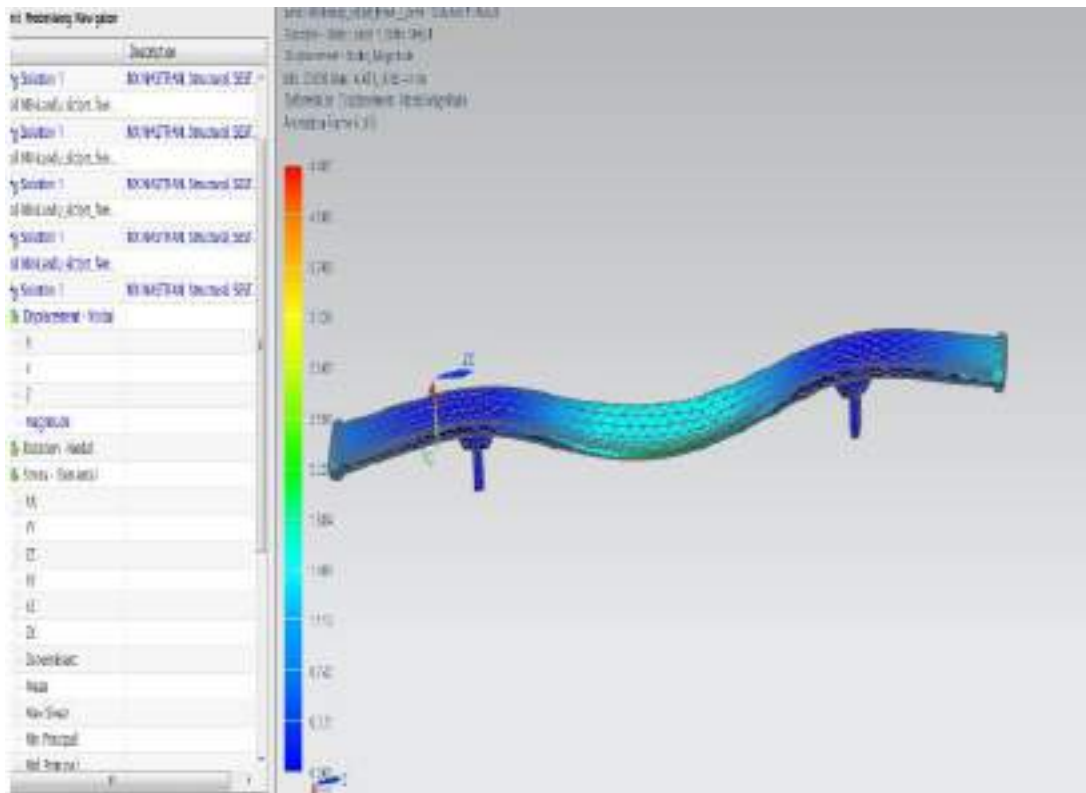


Рисунок 3.9 – Максимальний об’єм спойлера при максимальній притискній силі

На графіку (рис. 3.10) показано лінійну залежність між притискною силою та навантаженням на спойлер.



Рисунок 3.10 – Залежність притискної сили від напружень.

Результати показують, що існує пряма лінійна залежність між притискною силою та навантаженням на спойлер. Помічено, що притискна сила, яка діє на спойлер, залежить від швидкості потоку крила, а також різниці тиску, що створює навантаження на композитний матеріал зі скловолокна, який охоплює задній спойлер.

Визначення товщини ламінату. Задній композитний спойлер виготовлено з сотового основного матеріалу. Зверху задній спойлер має прямокутну форму. Тому з довідника щодо сендвічів товщину ламінату можна визначити на ілюстрації нижче, рисунок 3.11.

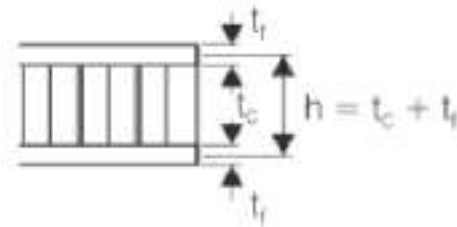


Рисунок 3.11 – Товщина волокна сандвіч-панелі.

Отже, для прямокутної балки момент інерції буде заданий як:

$$I = \frac{btd^2}{2}, \quad (3.16)$$

З рівняння 3.9 напруження на опорі визначається як:

$$\delta_{\max} = \frac{F}{2Il} c^2. \quad (3.17)$$

Отже, підставляючи рівняння 3.16 у рівняння 3.9 і застосовуючи концепцію сандвіча, все рівняння можна записати як:

$$\delta_{\max} = \frac{F(tc+2tf)}{4lbt_f(tc+tf)^2} c^2, \quad (3.18)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КВРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 61 |

де: $d = t_c + t_f = h$, h - висота балки / спойлера, t_c - товщина осердя, t_f - товщина волокна.

Таким чином, щоб знайти товщину ламінату (t_f), маємо:

$$\frac{4\delta_{\max} l b}{F_c^2} = \frac{(t_c + 2t_f)}{t_f(t_c + t_f)^2}$$

$$\frac{4 + 2,309 \cdot 10^9 + 1400 + 206,9}{829,614 + 297,75^2} = \frac{(25,80 + 2t_f)}{t_f(25,80 + t_f)^2}$$

$$-t_f^3 - 51,6t_f^2 - 25,8t_f + 0,00071 = 0$$

Нехай $0,00071 \approx 0$;

Таким чином; $t_f(t_f^2 - 51,6t_f - 25,80) = 0$

Отже, розв'язуючи квадратне рівняння $t_f^2 - 51,6t_f - 25,80 = 0$

$$t_f = \frac{51,6 \pm \sqrt{51,6^2 - 4(25,80)}}{2} = 25,80 \pm 25,295$$

Оскільки товщина ламінату – це покриття шару навколо спойлера, то:

$$t_f = 25,80 - 25,295 = 0,51 \text{ мм.}$$

Розподіл орієнтовної вартості виготовлення спойлера наведено в таблиці 3.6.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КВРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 62 |

Таблиця 3.6 – Розподіл орієнтовної вартості виготовлення спойлера.

| № | Предмети | Одиниця | Сума | Вартість одиниці (\$) | Загальна вартість (\$) | Примітка |
|---------------------------|-----------------------------|----------------|------|-----------------------------|------------------------------|----------|
| 1 | Скловолокно | м ² | 5 | 2,0 | 10 | |
| 2 | Поліефірна смола | кг | 2 | 4 | 8 | |
| 3 | Стільниковий NH-09 | м ³ | 1 | 44,00 | 44,00 | |
| 4 | Смоляні труби | м | 4 | 0,17 | 0,68 | |
| 5 | Затверджувач | кг | 1 | 4 | 4 | |
| 6 | Матова плівка | м ² | 2 | 0,5 | 1 | |
| 7 | Мономер стиролу | кг | 1 | 5 | 5 | 10 % |
| 8 | Відпускна плівка | рулон | 1 | 7,8 | 7,8 | |
| 9 | Фіксована вартість праці | номер | 2 | 2*20 | 40 | |
| Оцінка загальної вартості | | | | 120,48 | | |

ВИСНОВКИ

1) В дипломній роботі було використано методи проектування продукту при виготовленні заднього спойлера зі скловолокна та програмне забезпечення Solidworks для проектування заднього спойлера. Це дослідження було виконано з деякими припущеннями щодо геометрії заднього спойлера з кутом атаки 8 градусів і швидкістю вітру 150 км/год, щоб розрахувати максимальну притискну силу 829,614 Н для спойлера. Ця сила була використана для аналізу максимального навантаження на задній спойлер, і в результаті отримано напруження 2,309 МПа.

2) Запропонована технологія виготовлення композитного спойлера. Легка армована конструкція товщиною 0,51 мм забезпечує загальну жорсткість спойлера. Така товщина витримала напруження 2,309 МПа, що виникло за рахунок дії притискної сили.

3) Подальше моделювання проводилося з притискною силою від 100 Н до 700 Н. Це показує, що притискна сила, що діє на спойлер, залежить від швидкості потоку крила, а також різниці тиску, створюючи тим самим напруження на композитний матеріал зі скловолокна, який охоплює задній спойлер.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 64 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Rubel Chandra Dasa, Mahmud Riyada,” CFD Analysis of Passenger Vehicle at Various Angle of Rear End Spoiler”, ,Khulna ,Bangladesh. Procedia Engineering 194 (2017) 160 – 165.

2. See-Yuan Cheng, Kwang-Yhee Chin, Shuhaimi Mansor, Abd Basid Abd Rahman, ”Experimental study of yaw angle effect on the aerodynamic characteristics of a road vehicle fitted with a rear spoiler” Melaka, Malaysia. JWEIA 184 (2019) 305–312.

3. Cakir, M. “CFD study on aerodynamic effects of a rear wing/spoiler on a passenger vehicle”. Mechanical Engineering Masters Theses Paper 1. Santa Clara University, 2012.

4. Sunanda, M. & Nayak, S., 2013. Analysis of NACA 2412 for Automobile Rear Spoiler Using Composite Material. Internal Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, January, 3(1), pp. 236-242.

5. Edwin M-L Yiu, Yuet-Ming Yuen, Tara Whitehill, Alison Winkworth. Reliability and applicability of aerodynamic measures in dysphonia assessment. September 2004 Clinical Linguistics & Phonetics 18(6-8):463-78 DOI:10.1080/02699200410001703592

6. Chang, K., Web Cadet Corps. Електронний ресурс: <http://www.webcadets.com/training/afctp/pilot_2.php (дата звернення 14.04.2025)

7. Sambit Majumder and Somnath Saha, A Method of Drag Reduction of a Vehicle by Computational Investigation and Geometric Modification, International Journal of Applied Engineering Research, ISSN 0973-4562 Volume 9, Number 6 (2014) pp. 687-699.

8. Sadraey, M., 2013. Wing Design. Електронний ресурс: <<http://faculty.dwc.edu/sadraey> (дата звернення 15.04.2025)

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КВРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 65 |

9. R.B. Sharma, Ram Bansal, CFD Simulation for Flow over Passenger Car Using Tail Plates for Aerodynamic Drag Reduction, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering(IOSR-JMCE) e-ISSN: 2278-1684,PISSN:2320-334X, Volume 7, Issue 5 (jul-aug.2013), pp. 28-35.

10. Аеродинаміка літальних апаратів [Електронний ресурс] : навч. посіб. Для здобувачів ступеня бакалавра за освіт. програмою «Літаки і вертольоти» спец. 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: П. В. Лук'янов. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 188 с.

11. Glenn, E., 2014. The Physics Hypertextbook. Електронний ресурс: <<http://physics.info/drag> (дата звернення 10.05.2025).

12. Тягній В. Г. Основи аеродинаміки та динаміки польоту. Частина I. Аерогідрогазодинаміка / В. Г. Тягній, В. В. Ємець ; МВС України, Харків. нац. ун-т внутр. справ, Кременчуцьк. льотний коледж. – Харків : ХНУВС, 2023. – 280 с.

13. Аеродинаміка літальних апаратів / Г. Н. Котельніков [та ін.]; ред. Ю. М. Терещенко. — К. : Вища освіта, 2002. — 254 с.

14. Лемко О.Л. Навчальний посібник «Аеродинамічні характеристики транспортних літаків та їх розрахунок». Електронне навчальне видання. Київ: НТУУ «КПІ», 2012. - 75 с.

15. П.В.Лук'янов. Нестационарне поширення малих збурень від тонкого крила: ближнє й дальнє поле. // Акустичний вісник .Том 12,№ 3, 2009,с. 41-55.

16. Технологія композиційних матеріалів: Навчальний посібник /Гончаренко В.В., Коваленко І.В. –К.:, 2007.-131 с.

17. Верещака С. М. Механіка композиційних матеріалів : навчальний посібник / С. М. Верещака. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 160 с.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КВРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 66 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

18. Композиційні матеріали: Навчальний посібник / Копань В.С – К.: «Пульсари», 2004 – 200 с.

19. Технологія композиційних матеріалів: Навчальний посібник /Гончаренко В.В., Коваленко І.В. – К.: 2007.-131 с.

20. A. Terry Bahill, Clark Briggs. The Systems Engineering Started in the Middle Process: A Consensus of Systems Engineers and Project Managers. May 2001 Systems Engineering 4(2): pp. 156 – 167.

21. Bagherpour, S., 2012. Material Science Polymer. Fiber Reinforced Polyester Composites, 26 September, p. Chapter 6. pp. 133 – 141.

22. Gurit, 2014. Wind Energy Handbook. Електронний ресурс: <http://www.gurit.com/files/documents/4_bladeprocesses.pdf (дата звернення 11.05.2025)

23. Аеродинаміка літальних апаратів: Підручник/Г. Н. Котельніков, О. В. Мамлюков, В. І. Сілков, Ю. М. Терещенко. - К.: Вища освіта, 2002. – 255 с

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КВРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| | | | | | | 67 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ДОДАТКИ

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-------------------------|------|
| | | | | | КвРМТВА. 21153.01.06.00 | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 68 |

Проектування та технологія виготовлення композитного спойлера для легкового автомобіля.



Виконав ст. гр. МТВА-21-1:

Максимчук Назар Вікторович

Науковий керівник: к.т.н., доц. каф. ТАМ:

Посонський Сергій Феліксович

Задні спойлери можна визначити як аеродинамічні пристрої, які зазвичай додають до задньої кромки даху або багажника автомобіля для покращення його аеродинамічних характеристик

Метою роботи є проектування композитного автомобільного спойлера та аналіз його аеродинамічного ефекту при встановленні на задній частині автомобіля.



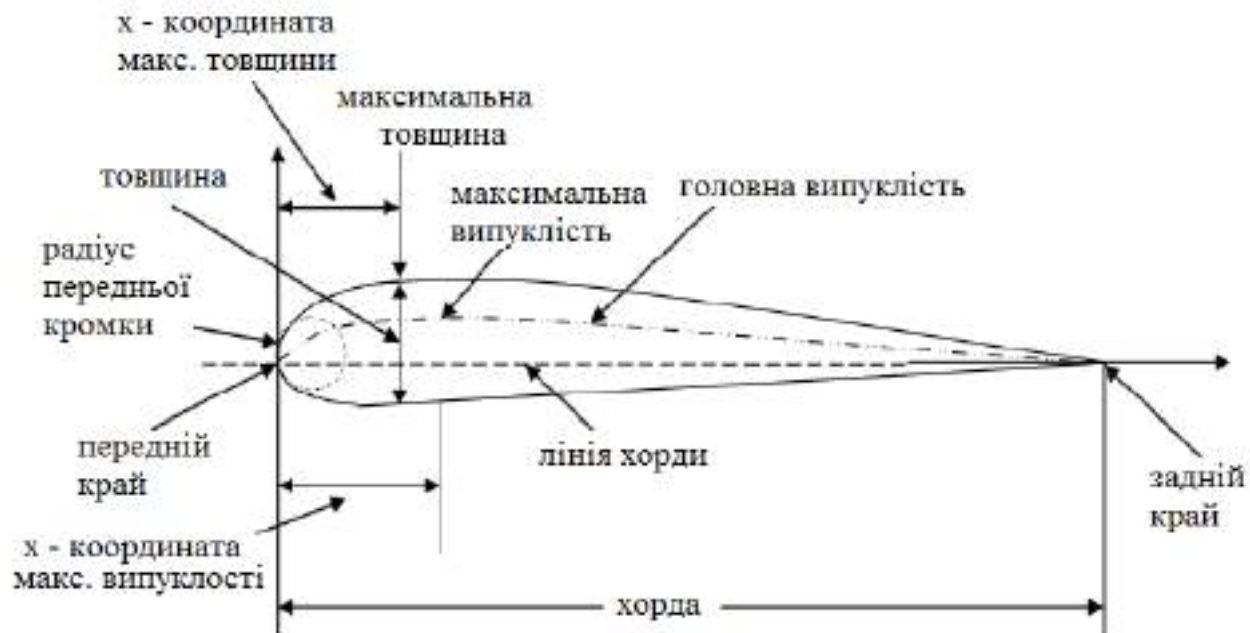
Завдання роботи:

- 1) Виконати аналіз геометрії заднього спойлера щодо його бажаної функції в автомобілі.
- 2) Застосовувати методи аналізу кінцевих елементів (FEM) до структурного проектування спойлера.
- 3) Розробити технологічний процес виготовлення спойлера з композитних матеріалів.

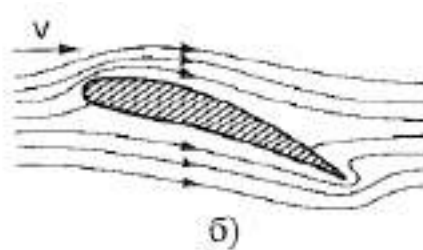
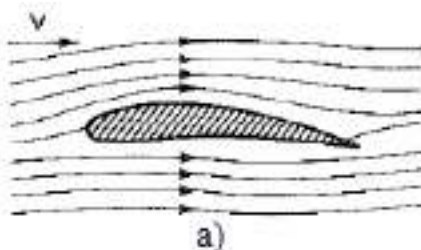
Автомобіль, що рухається на високій швидкості має низьку стабільність, і це може ускладнити гальмування, а також подолати поворот.

Тому, щоб мінімізувати ефект лобового опору, необхідно створити більшу притискну силу, наприклад, встановивши задній спойлер на автомобілі, як показано праворуч на рисунку



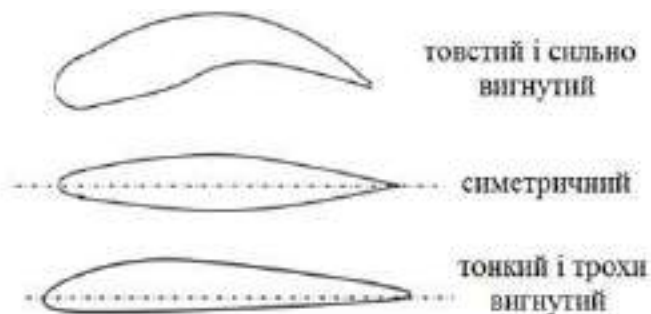


Геометричні параметри профілю



Потік навколо профілю:

а – малий кут атаки; б – великий кут атаки



Зразок секції профілю.

Композитні системи складаються з двох основних компонентів, це армування та смоляна матриця.

Властивості композитних армуючих волокон.

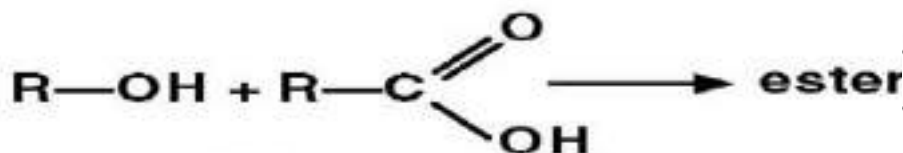
| Матеріал | Модуль міцності на розтяг (E) (ГПа) | Міцність на розрив (δ) (ГПа) | Подовження (ϵ) (%) | Щільність (ρ) (мг/м ³) | Питомий модуль (E/ ρ) (мг/кг) | Вартість (\$/кг) |
|-----------|-------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------------|------------------|
| E-glass | 72,4 | 2,4 | 2,6 | 2,54 | 28,5 | 1,1 |
| S-glass | 85.5 | 4.5 | 2.0 | 2.49 | 34.3 | 22...33 |
| кевлар | 124 | 3.6 | 2.3 | 1.45 | 86 | 22...33 |
| HS графіт | 253 | 4.5 | 1.1 | 1,80 | 140 | 66...110 |
| HM графіт | 520 | 2.4 | 0,6 | 1,85 | 281 | 220...660 |



Ідеалізована хімічна структура епоксидної смоли.

Типовий діапазон властивостей епоксидних смол.

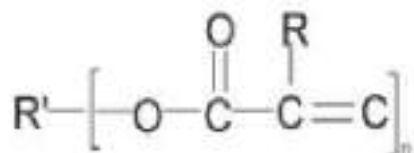
| | |
|---|-------------|
| Питома вага | 1,2 – 1,3 |
| Модуль міцності (МПа) | 2500 – 4500 |
| Міцність на розрив (МПа) | 50 – 150 |
| Коефіцієнт теплового розширення, $10^{-6}\text{мм}^{\circ}\text{C}$ | 45 – 70 |
| Вологопоглинання (% за 24 години) | 0,05 – 0,15 |



Хімічна структура поліефіру.

Загальні властивості термореактивного поліефіру.

| | |
|---|-------------|
| Питома вага | 1,1 – 1,4 |
| Модуль міцності (МПа) | 2000 – 4400 |
| Міцність на розрив (МПа) | 33–104 |
| Коефіцієнт теплового розширення, $10^{-6}\text{мм}^{\circ}\text{C}$ | 55 – 100 |
| Вологопоглинання (% за 24 години) | 0,15 – 0,65 |

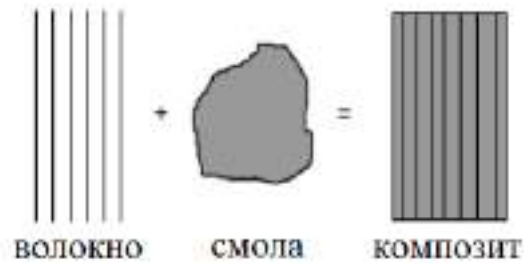


Хімічна структура вінілового ефіру.

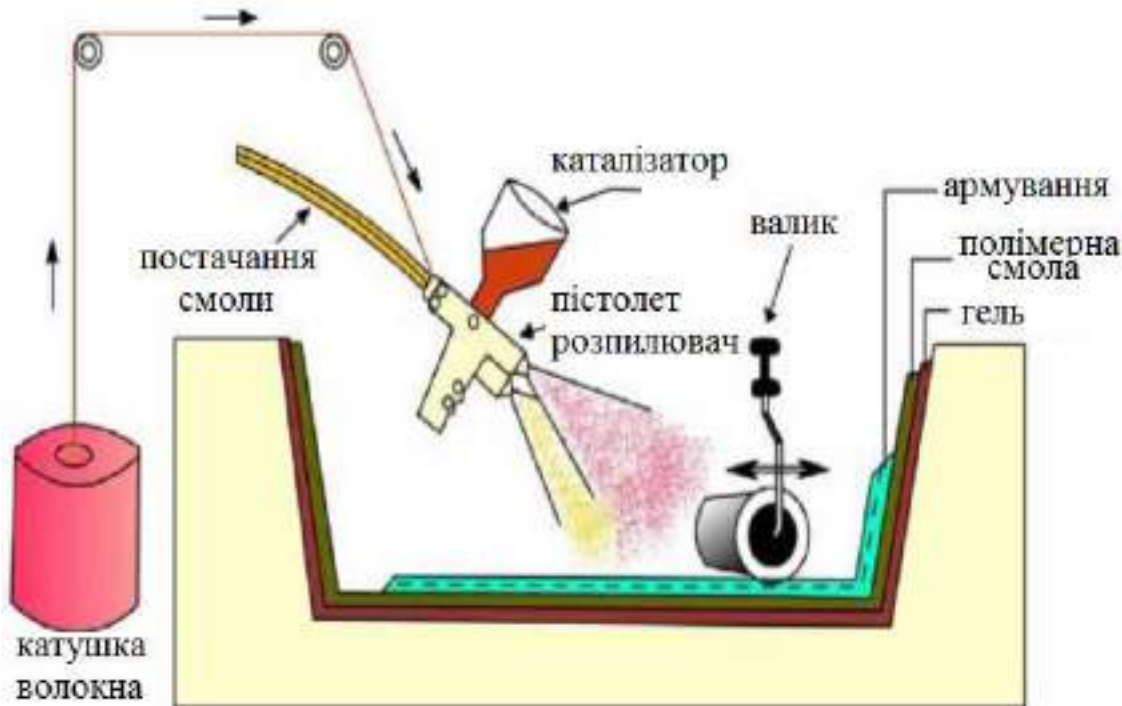
Загальні властивості термореактивного вінілового ефіру.

| | |
|---|-------------|
| Питома вага | 1,1...1,3 |
| Модуль міцності (МПа) | 3000...3700 |
| Міцність на розрив (МПа) | 70...81 |
| Коефіцієнт теплового розширення, $10^{-6}\text{мм}^{\circ}\text{C}$ | 50...55 |

Виробничі процеси формування



Процес ручного укладання.

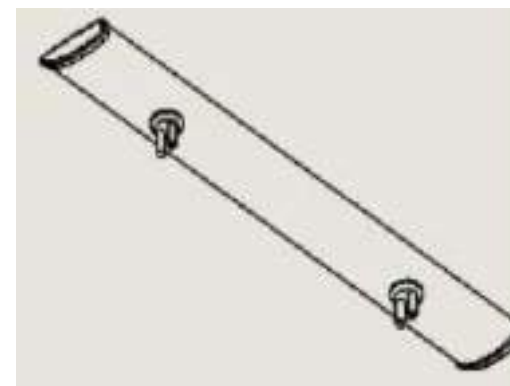
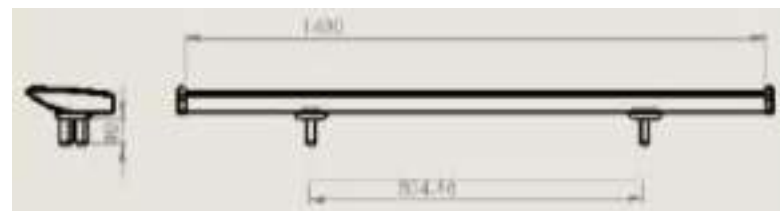


Процеси розпилювального формування.

Характеристики спойлера

Розміри спойлера.

| Розмір | Одиниці (мм) |
|----------------------------|--------------|
| Довжина | 1400 |
| Ширина | 206,9 |
| Відстань між двома опорами | 804,5 |
| Товщина | 25,80 |
| Висота опори | 48,20 |



Хімічні властивості Е-скловолокна.

| | |
|--------------------------------------|-------|
| SiO ₂ % | 52–56 |
| B ₂ O ₃ % | 5–10 |
| Al ₂ O ₃ % | 12–16 |
| MgO % | 0–5 |
| CaO % | 16–25 |
| Na ₂ O+K ₂ O % | 0–2 |
| ZnO % | 2–5 |
| Fe ₂ O ₃ % | 0–0,8 |
| TiO ₂ % | 0–4 |

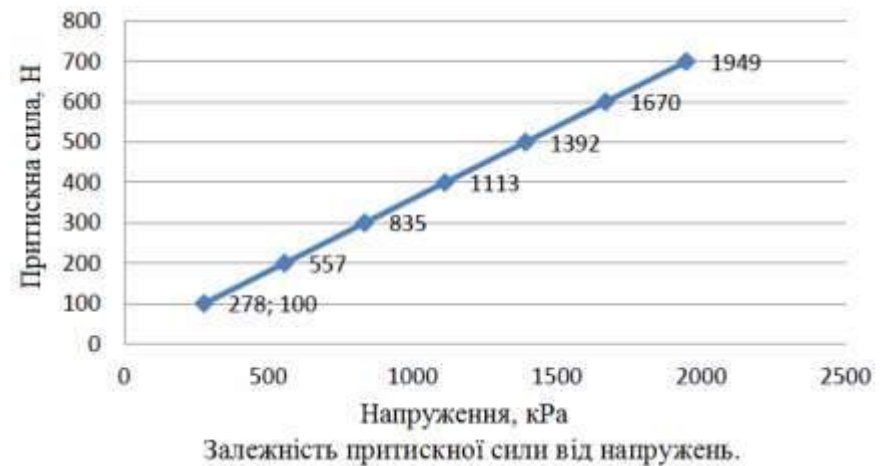
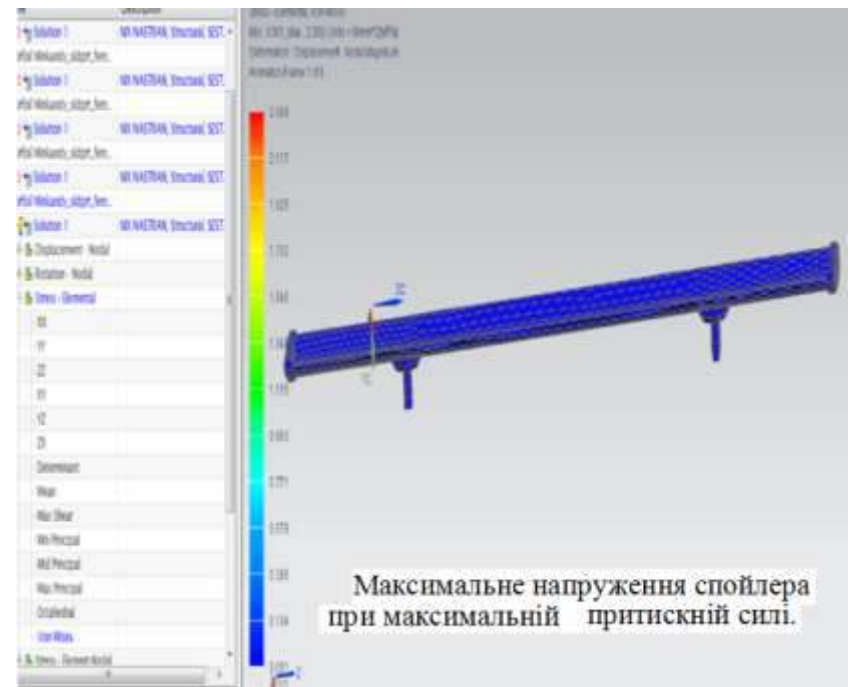
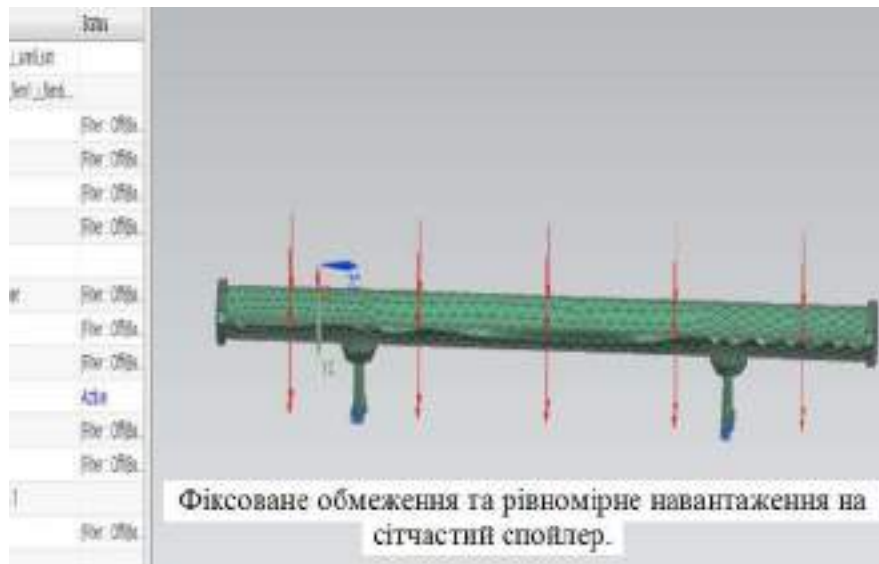
Механічні властивості Е-скловолокна.

| | |
|-------------------------------------|------|
| Щільність (г/см ³) | 2,58 |
| Міцність на розрив (МПа) при 23 °С | 3445 |
| Міцність на розрив (МПа) при 196 °С | 5310 |
| Міцність на розрив (МПа) при 538 °С | 1725 |
| Міцність на розрив (МПа) при 371 °С | 2620 |
| Модуль пружності (ГПа) при 538 °С | 81,3 |
| Модуль пружності (ГПа) при 23 °С | 72,3 |
| Відносне видовження % | 4,8 |

Спойлер аналізувався з рівномірним навантаженням 829,614 Н, що є максимальною притискною силою розробленого спойлера. Це призвело до максимального напруження 2,309 МПа при зміщенні 4,451 мм. Подальший аналіз проводився з рівномірним навантаженням від 700 Н до 100 Н з відповідним навантаженням і зміщенням, як показано в таблиці

Дані моделювання Nastran спойлера.

| Притискна сила (Н) | Напруження (МПа) | Об'єм (мм) |
|--------------------|------------------|------------|
| 829,614 | 2,309 | 4,451 |
| 700 | 1,949 | 3,755 |
| 600 | 1,670 | 3,219 |
| 500 | 1,392 | 2,682 |
| 400 | 1,113 | 2,146 |
| 300 | 0,835 | 1,609 |
| 200 | 0,557 | 1,073 |
| 100 | 0,278 | 0,536 |



Розподіл орієнтовної вартості виготовлення спойлера.

| № | Предмети | Одиниця | Сума | Вартість одиниці (\$) | Загальна вартість (\$) | Примітка |
|---------------------------|-----------------------------|----------------|------|-----------------------------|------------------------------|----------|
| 1 | Скловолокно | м ² | 5 | 2.0 | 10 | |
| 2 | Поліефірна смола | кг | 2 | 4 | 8 | |
| 3 | Стільниковий NH-09 | м ³ | 1 | 44,00 | 44,00 | |
| 4 | Смоляні труби | м | 4 | 0,17 | 0,68 | |
| 5 | Затверджувач | кг | 1 | 4 | 4 | |
| 6 | Матова плівка | м ² | 2 | 0,5 | 1 | |
| 7 | Мономер стиролу | кг | 1 | 5 | 5 | 10 % |
| 8 | Відпускна плівка | рулон | 1 | 7,8 | 7,8 | |
| 9 | Фіксована вартість праці | номер | 2 | 2*20 | 40 | |
| Оцінка загальної вартості | | | | 120,48 | | |

ВИСНОВКИ

- 1) В дипломній роботі було використано методи проектування продукту при виготовленні заднього спойлера зі скловолокна та програмне забезпечення Solidworks для проектування заднього спойлера. Це дослідження було виконано з деякими припущеннями щодо геометрії заднього спойлера з кутом атаки 8 градусів і швидкістю вітру 150 км/год, щоб розрахувати максимальну притискну силу 829,614 Н для спойлера. Ця сила була використана для аналізу максимального навантаження на задній спойлер, і в результаті отримано напруження 2,309 МПа.
- 2) Запропонована технологія виготовлення композитного спойлера. Легка армована конструкція товщиною 0,51 мм забезпечує загальну жорсткість спойлера. Така товщина витримала напруження 2,309 МПа, що виникло за рахунок дії притискної сили.
- 3) Подальше моделювання проводилося з притискною силою від 100 Н до 700 Н. Це показує, що притискна сила, що діє на спойлер, залежить від швидкості потоку крила, а також різниці тиску, створюючи тим самим напруження на композитний матеріал зі скловолокна, який охоплює задній спойлер.