

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Розробка технологічного процесу виготовлення накладок для гальмівних колодок автомобіля

Рівень вищої освіти бакалавр
Галузь знань 13 «Механічна інженерія»
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»
Освітня програма «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

Шифр КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ

Виконав студент 3-го курсу
група МТВАс 22-2
Шифр


Підпис

Владислав КОСТЕЦЬКИЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник к.т.н., доц.
Науковий ступінь, звання


Підпис

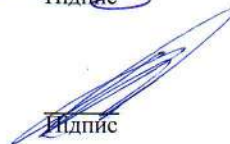
Владислав СВИДЕРСЬКИЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер


Підпис


Олег БАБАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ
Назва


Підпис

Олександр ДИХА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата _____


8.06.2025

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність – 132 «Матеріалознавство»

Рівень вищої освіти – Перший бакалаврський

Освітньо-професійна програма – «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф., д.т.н. Диха О.В.

20 02 2025 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Костецького Владислава Олеговича

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи «Розробка технологічного процесу виготовлення накладок для гальмівних колодок автомобіля»

керівник роботи Свідерський Владислав Петрович к.т.н., доцент

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

Затверджено наказом ректора університету від 7 лютого 2025р. № 23 Д14)

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10 червня 2025 року

3. Вихідні дані до проекту: Матеріали практики; робочі креслення ущільнюючих елементів; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги з охорони праці та безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт.

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

1. Аналіз умов роботи пари тертя гальмівна колодка – диск гальмівного механізму автомобіля. 2. Аналіз властивостей композиційних матеріалів для виготовлення колодки гальмівного механізму автомобіля. 3. Розробка складу фрикційного полімерного матеріалу для гальмівних колодок автомобіля на основі термостійкої поліїмідної матриці та фрикційного наповнювача. 4. Розробка технології формування гальмівних колодок з даного матеріалу.

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

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах.

6. Консультанти розділів роботи

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

6. Дата видачі завдання: 20.02. 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строки виконання	Примітка
1	Аналіз умов роботи пари тертя гальмівна колодка – диск гальмівного механізму автомобіля.	1.05.2025	
2	Аналіз властивостей композиційних матеріалів для виготовлення колодки гальмівного механізму автомобіля.	15.05.2025	
3	Розробка складу фрикційного полімерного матеріалу для гальмівних колодок автомобіля на основі термостійкої поліімідної матриці та фрикційного наповнювача.	25.05.2025	
4	Розробка технології формування гальмівних колодок з даного матеріалу.	1.06.2025	
5	Оформлення пояснювальної записки	2.06.2025	
7	Оформлення презентації бакалаврської роботи	5.06.2025	
8	Нормоконтроль бакалаврської роботи	9.06.2025	
9	Підписання розділів. Затвердження дати захисту	10.06.2025	

Студент

 Владислав КОСТЕЦЬКИЙ

Керівник роботи

 Владислав СВИДЕРСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна бакалаврська робота студента групи МТВАс-22-2 Костецького Владислава Олеговича на тему: «Розробка технологічного процесу виготовлення накладок для гальмівних колодок автомобіля».

Обсяг роботи: 61 с., 7 табл., 8 рис., 10 джерел зі списку літератури, 1 додаток.

Гальмівну систему вважають одним із найважливіших засобів забезпечення активної безпеки руху транспортного засобу. Складається вона з сукупності пристроїв, які призначені для виконання гальмування автомобіля, тобто сповільнення руху або зупинки його, а також обмеження швидкості транспортного засобу на крутих спусках та для забезпечення нерухомого стану автомобіля під час стоянки [1].

Гальмівний механізм приводить до утворення тертя, яке примусово зупиняє обертання коліс транспортного засобу.

Метою даної роботи є аналіз умов роботи гальмівного механізму автомобіля та аналіз властивостей полімерних композиційних матеріалів для виготовлення гальмівної колодки, а також розробці складу полімерного фрикційного матеріалу для гальмівних колодок автомобіля на основі термостійкої поліімідної матриці та фрикційного наповнювача і безпосередньо розробці технології формування гальмівних колодок з такого матеріалу.

Об'єкт дослідження: колодка гальмівного механізму автомобіля.

Проведено дослідження умови роботи пари тертя гальмівна колодка – диск гальмівного механізму автомобіля.

Виконано аналіз полімерних композиційних матеріалів для виготовлення гальмівної колодки.

Розроблено склад полімерного фрикційного матеріалу для гальмівних колодок автомобіля на основі термостійкої поліімідної матриці та фрикційного наповнювача.

Виконані також дослідження по розробці технології виготовлення гальмівних колодок із матеріалу на основі термостійкої поліімідної матриці і фрикційного наповнювача.

Графічна частина представлена у вигляді презентації.

Ключові слова: ФРИКЦІЙНИЙ ПОЛІМЕРНИЙ МАТЕРІАЛ, ТЕРМОСТІЙКІСТЬ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, ГАЛЬМІВНА КОЛОДКА, ГАЛЬМІВНИЙ МЕХАНІЗМ, ТЕХНОЛОГІЯ ФОРМУВАННЯ.

Зміст

Вступ.....	7
1 Характеристика виробу та аналіз умов експлуатації.....	8
1.1 Складові частини гальмівної системи.....	8
1.2 Привод гальмівних механізмів.....	8
1.3 Принцип роботи гальмівних механізмів.....	8
1.4 Регулятор тиску.....	9
1.5 Барабанні гальмівні механізми.....	10
1.6 Дискові гальмівні механізми.....	11
1.7 Фрикційні характеристики накладки.....	13
1.8 Постановка задачі на розробку складу та технології виготовлення матеріалу фрикційної накладки гальмівного механізму автомобіля.....	14
2 Розробка складу фрикційного термостійкого матеріалу для виготовлення гальмівних накладок	16
2.1 Загальні відомості про фрикційні полімерні матеріали (ПМ)	16
2.2 Вибір матриці для фрикційних полімерних матеріалів з підвищеною термостійкістю.....	17
2.3 Характеристика імідних сполучних АПІ та матеріалів на їх основі.....	20
2.4 Експлуатаційні властивості виробів на основі АПІ-3.....	24
2.5 Вибір і характеристика основного наповнювача для фрикційних полімерних матеріалів.....	26
2.6 Вибір складу термостійкого фрикційного полімерного матеріалу.....	31
2.7 Отримання пресувального матеріалу в лабораторних умовах і дослідження технологічних властивостей.....	32

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ			
Зм.	Арк.	Нздокум.	Підпис	Дата				
Виконав		Костецький В. О.		10.06.25	Розробка технологічного процесу виготовлення накладок для гальмівних колодок автомобіля	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Свідерський В. П.		10.06.25		Н	5	61
Н.контр.		Бабак О. П.		10.06.25	ХНУ, група МТВАс-22-2			
Затвер.		Диха О. В.		10.06.25				

3 Розробка технології отримання термостійкого фрикційного полімерного матеріалу.....	35
3.1 Розроблення технології отримання матеріалу на основі АПІ-3.....	35
3.2 Технологічна блок - схема отримання матеріалу на основі АПІ-3.....	43
3.2.1 Контроль якості сполучного.....	43
3.2.2 Контроль якості наповнювача.....	44
3.2.3 Отримання фрикційного прес-матеріалу	44
4 Розробка технології виготовлення фрикційних гальмівних колодок..	46
4.1 Обґрунтування вибору методу.....	46
4.2 Розробка технології пресування.....	46
4.3 Пряме пресування.....	51
4.3.1 Технологічна схема пресування фрикційної накладки.....	52
4.3.2 Розрахунок часу технологічної операції пресування.....	58
Висновки.....	59
Список використаних джерел.....	60
Додатки.....	61

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ВСТУП

Швидкий розвиток технічних наук, ріст швидкостей транспортних засобів, а також зміна ваги та габаритів автомобілів пов'язані з різким підвищенням потужності, що поглинається фрикційними та гальмівними пристроями і передаються зчипними муфтами. Усе це вимагає від фрикційних матеріалів значно вищі вимоги до термостійкості в умовах тривалого навантаження, достатньої зносостійкості, а також стабільного коефіцієнта тертя.

Використання полімерних фрикційних матеріалів дає можливість у багатьох випадках значно підвищити терміни експлуатації машин та механізмів та, відповідно як наслідок цього, відтермінувати міжремонтні строки і знизити затрати на ремонтні роботи. Крім того, це значно знизить трудомісткість виготовлення вузлів та деталей тертя, завдячуючи вищій ефективності перероблення полімерних матеріалів на вироби у порівнянні зі звичайною механічною обробкою металів.

Застосування полімерних матеріалів приводить до зменшення маси та габаритних розмірів механізмів. Значне розширення використання полімерних матеріалів у вузлах тертя надає можливість спростити саму конструкцію вузлів тертя, а також достатньо підвищити надійність та довговічність роботи їхньої та вивільнити кольорові метали і леговані сталі для інших механізмів.

Автомобільні гальмівні колодки відносяться до теплонавантажених виробів і конструкцій. Для них традиційні типи полімерних матеріалів не придатні, так як вони, зазвичай, втрачають деформаційну стійкість за температур, вищих за 200 °С.

Проте досліджено, що для теплонавантажених деталей та конструкцій, що працюють за температур вище 300 °С, більш придатні полімерні матеріали на основі жорстколанцюгових сітчастих імідних матриць – імідопласти.

Ось чому, саме дані полімерні матеріали доцільно використати у якості матриці фрикційних полімерних матеріалів для накладок гальмівних колодок гальмівного механізму автомобіля.

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБУ ТА АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

1.1 Складові частини гальмівної системи

До гальмівної системи автомобіля відноситься привод та гальмівний механізм.

Що стосується приводу, то він може бути електричним, механічним, пневматичним, гідравлічним, а також комбінованим. Електричний привод в даний час у чистому вигляді не використовується.

Також бувають різні і гальмівні механізми. Відомі механізми: дискові, барабанні, стрічкові.

1.2 Привод гальмівних механізмів

У автомобілях великої та середньої вантажопідйомності застосовується пневматичний привод гальмівних механізмів. Найпопулярнішим для легкових автомобілів вважається гідравлічний привод гальмівної системи, на розгляді якого зупинемось детальніше. Дана система базується на властивості рідини не стискатися.

Гідропривод системи складається з наступних елементів:

- педалі гальма;
- гальмівного головного циліндра;
- підсилювача вакуумного;
- патрубків гідроприводу та шлангів гальмівних;
- робочих гальмівних циліндрів передніх та задніх, які вмонтовані у гальмівних механізмах.

1.3 Принцип роботи гальмівних механізмів

Принцип дії гальмівного механізму полягає в тому, що натискання на педаль

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

гальма передається через шток до поршня, який рухається в головному гальмівному циліндрі, заповненому гальмівною рідиною, що циркулює також у всіх патрубках та шлангах гальмівної системи. При тиску на педаль гальма поршень в циліндрі переміщується та передає зусилля на рідину, яка далі спричиняє тиск на гальмівні циліндри механізмів.

Також за допомогою головного гальмівного циліндра це зусилля передається від педалі до гальмівних механізмів.

Встановлений розширювальний бачок над головним гальмівним циліндром служить для компенсації розширення гальмівної рідини при нагріванні, а також для уникнення потрапляння повітря у систему гідроприводу гальм. Для цього потрібно постійно слідкувати за рівнем гальмівної рідини у бачку та не допускати падіння рівня його нижче позначки «MIN».

Сам розширювальний бачок поділений на два резервуари, які з'єднані з головним гальмівним циліндром системи відповідно через два отвори. Поршні циліндрів мають кільцеві ущільнювальні манжети, що притискаються пружинами.

Для контролю рівня гальмівної рідини у розширювальному бачку встановлюють поплавки, до якого приєднано датчик рівня гальмівної рідини. У випадку, якщо рівень гальмівної рідини знизиться нижче необхідного показника, на передній панелі в салоні автомобіля загоряється відповідний сигналізатор, а у деяких автомобілях може ще й спрацювати звукова сигналізація.

1.4 Регулятор тиску

У гідропривод гальм впроваджують регулятор тиску гальмівної рідини. В процесі гальмування задні колеса спрацьовують на мить раніше передніх. Це спроектовано для того, щоб запобігти занесенню автомобіля у випадку коли його колеса торкнуться слизької поверхні. Однак процес руху є досить складним, і автомобіль може бути завантажений багажем або пасажирами, що призводить до збільшення навантаження на задню вісь.

Якщо навантаження на задню вісь збільшується, для її гальмування потрібне

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

більше зусилля. Саме, щоб водій не переймався питанням розподілу гальмівних зусиль між передньою та задньою віссю у гідропривод гальм було встановлено регулятор.

В залежності від зміни навантаження на задні колеса регулятор тиску здатен коригувати тиск гальмівної рідини у системі задніх гальмівних механізмів.

1.5 Барабанні гальмівні механізми

З гальмівних механізмів був дуже поширений раніше барабанний гальмівний механізм. Цей механізм може бути оснащений:

– гальмівним щитком, який не виконує обертовий рух, а жорстко закріплений на поворотному кулачку (при керованих передніх колесах) або закріплений на цапфі (якщо це задня вісь);

– гальмівним щитком, на якому встановлено робочий гальмівний циліндр та гальмівні колодки, які кінцем одним опираються на опори, а іншим кінцем впираються у поршні робочого циліндра;

– гальмівними колодками, на які приклепані або наклеєні фрикційні накладки, а зверху накриті гальмівним барабаном, який виконує обертовий рух разом із колесом.

У випадку необхідності зниження швидкості чи зупинки, водій при натисканні на педаль гальма, через гідропривод діє на поршні робочого гальмівного циліндра. Переміщуючись, поршні розсовують гальмівні колодки і виконується притискання їх до поверхні гальмівного барабану.

Відомі у машинобудуванні кілька схем розташування гальмівних колодок.

Після гальмування, щоб гальмівні колодки вернулись у вихідне положення, встановлено спеціальні відвідні пружини.

Між колодками та барабаном існує зазор, який часто регулюється автоматично. Практично реалізується це таким чином: під дією тиску рідини поршні робочих циліндрів переміщуючись назовні, утворюють наявний між ними та пружними кільцями осьовий зазор, далі потягнуть кільця за собою. Переміщення

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поршнів триватиме до тих пір, поки колодки не торкнуться барабану. А коли відпустити педаль тормозу, відвідні пружини перемістять поршні назад лише на величину осьовому зазору між поршнем та кільцем, так як зрушити кільце вони не зможуть.

Величина зазору відповідає необхідному зазору між колодкою та барабаном. Отже, по мірі зношення тормозних накладок кільце буде переміщатися вздовж циліндра, при цьому підтримуючи постійну величину зазору у гальмівному механізмі.

Гальмівні барабанні механізми у порівнянні з дисковими гальмами мають цілий ряд переваг, але є і недоліки.

До переваг відносять:

- велику робочу поверхню гальмівних колодок та можливість збільшення цієї поверхні як за рахунок діаметра гальмівного барабану, так і за рахунок ширини (особливо корисна ця властивість для вантажних автомобілів);
- відносну захищеність гальмівного механізму від бруду та пилу;
- достатню стійкість деталей гальмівного механізму до перепаду температур.

Серед недоліків можна назвати:

- малу потужність, у порівнянні з дисковими гальмами;
- велику інерційність деталей гальмівного механізму;
- чутливість до перегріву.

1.6 Дискові гальмівні механізми

Для легкових автомобілів досить перспективною альтернативою барабанних гальмівних механізмів стали дискові механізми. В дискових механізмах гальмівний диск прикріплений до маточини колеса та відповідно обертається разом із колесом. Коли необхідно зупинити автомобіль, потрібно підвести під тиском гальмівну рідину до поршня у гальмівному супорті. Поршень при цьому, впливаючи на гальмівні колодки, передає на них зусилля від гальмівної рідини, прижме до диску

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

та буде уповільнювати колесо.

Принцип дії дискового гальма як у велосипеді: роль диска відіграє поверхня обода колеса, а зменшення швидкості та зупинка виконується притисканням колодок гальма безпосередньо до обода колеса. Схему дискового гальмівного механізму зображено на рисунку 1.

Вважають ефективність дискових гальм набагато вищою за ефективність барабанних гальм. У обслуговуванні вони є значно простішими та краще відводять тепло, яке виділяється при гальмуванні.

Тому об'єктом дослідження у даній роботі є гальмівні колодки для дискових гальм автомобіля, які представлені на рисунку 1.

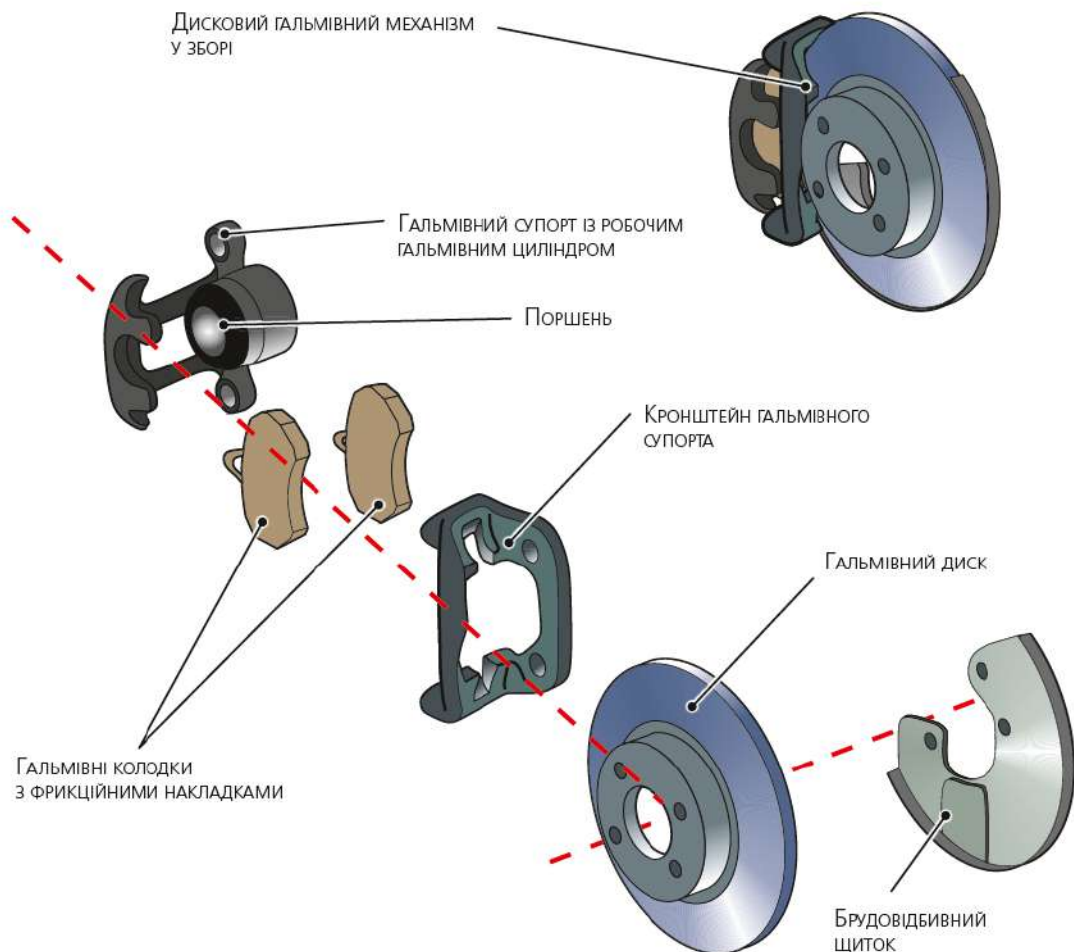


Рисунок 1.1 – Приклад дискового гальмівного механізму

Гальмівна колодка має дві частини:

а) фрикційну накладку, яка виготовлена із композиційного полімерного

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

матеріалу спеціального призначення, що запресована у металеву пластину;

б) металеву пластину.

Товщина фрикційної накладки біля 6–7 мм, при цьому геометрична форма визначається відповідно умовами роботи гальмівної системи.

При роботі гальмівної системи, під дією тиску рідини, у гідравлічному приводі поршні виконують переміщення гальмівної колодки та притискають її до гальмівного диску. Із-за цього у гальмівній колодці наблюдаємо напруження зсуву та стиснення при терті колодки по диску. Іще, через нерівномірний нагрів та неоднорідність матеріалу в умовах роботи у матеріалі виникають термічні напруги.

В процесі експлуатації фрикційні накладки звичайно зношуються, тому для подальшої роботи надалі потрібно виконувати заміну їх. Допустима мінімальна товщина фрикційної накладки становить 1,5 мм [1].

Таблиця 1.1 – Фізико-механічні характеристики фрикційної накладки армованої трикотажем наповнювачем

Назва характеристики	Параметер
Щільність, г/см ³	1,9
Межа міцності при зсуві в напрямку тертя, МПа	30,0±6,9
Межа міцності при стискуванні у напрямку перпендикулярному площині фрикційної накладки, МПа	180,5±25,0
Межа міцності при розтягу у напрямку тертя, МПа	5,7±0,4
Відносне разрывне видовження при розтягу у напрямку тертя, %	2,5±0,3
Руйнівна напруга при згині, МПа	58,4±4,0

1.7 Фрикційні характеристики накладки

Показники якості накладки фрикційні можливо визначити динамічним коефіцієнтом тертя даної накладки при терті по сталі або чавуну (матеріал

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

контртіла тертя – гальмівного диску чи барабану авто) при сухому контакті та після намокання у воді.

За сухого контакту з контртілом тертя динамічний коефіцієнт тертя (μ_c) накладки визначають за величиною моменту тертя (M_T) при заданій силі (F) нормальному тиску, швидкості ковзання та лише після встановлення постійної температури у зоні контакту:

$$\mu_c = \frac{M_T}{R \cdot F} \quad (1.1)$$

де R – відстань середньої лінії ділянки контакту від осі диску.

Даний показник встановлюють застосовуючи машину тертя (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Умови експлуатації та технічні вимоги до якості виробу

Умови експлуатації виробу	Технічні вимоги до якості виробу
Швидкість тертя до 20 м/с; максимальне навантаження на поверхню до 6 МПа; короткочасна температура при гальмуванні ($T_{кр}$) = 500 °С; температура довготривала при гальмуванні ($T_{дт}$)= 350 °С;	Коефіцієнт тертя 0,38–0,45; знос в межах 0,12–0,28 см ³ на кВт на протязі години; короткочасна теплостійкість фрикціна до $T_{кр}$ = 500 °С, довготривала до $T_{кр}$ = 350 °С; відповідність європейским екологічним вимогам.

1.8 Постановка задачі на розробку складу та технології виготовлення полімерного матеріалу фрикційної накладки гальмівного механізму автомобіля

Мета роботи полягала у аналізі умов роботи гальмівного механізму автомобіля, аналізі властивостей полімерних композиційних матеріалів для виготовлення гальмівної колодки та обґрунтуванні складу полімерного фрикційного матеріалу для гальмівних колодок на основі термостійкої поліімідної матриці і фрикційного наповнювача, а також розробці технології виготовлення гальмівних колодок з даного матеріалу.

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єкт дослідження: гальмівна колодка гальмівного механізму автомобіля.

Предметом досліджень є технологія виготовлення гальмівної колодки гальмівного механізму автомобіля.

Основні завдання дослідження:

1. Дослідити умови роботи пари тертя гальмівна колодка – диск гальмівного механізму автомобіля.
2. Виконати аналіз полімерних композиційних матеріалів придатних для виготовлення гальмівної колодки.
3. Розробити склад полімерного фрикційного матеріалу для гальмівних колодок автомобіля на основі термостійкої поліімідної матриці та фрикційного наповнювача.
4. Виконати дослідження по розробці технології формування гальмівних колодок із матеріалу на основі термостійкої поліімідної матриці та фрикційного наповнювача.

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА СКЛАДУ ФРИКЦІЙНОГО ТЕРМОСТІЙКОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ГАЛЬМІВНИХ НАКЛАДОК

Як показав аналіз конструкції виробу, технічних вимог, умов експлуатації та характеристик матеріалу, необхідно використати полімерний матеріал, який відповідає таким критеріям: має високі фрикційні властивості, витримує термічні навантаження до 300 °С протягом тривалого часу, забезпечує достатню міцність під значними механічними навантаженнями та є технологічним, тобто не потребує спеціальних жорстких умов для процесу формування виробу. До того ж, при одержанні та переробці матеріалу у виріб і при його експлуатації не допускається виділення шкідливих для людини та навколишнього середовища речовин [2].

2.1 Загальні відомості про фрикційні полімерні матеріали (ПМ)

Фрикційні полімерні матеріали (ФПМ) використовують для передачі руху або зміни швидкості переміщення за рахунок сили тертя, що виникає між ведучими та ведомими ланками у фрикційних муфтах та передачах у колодкових, дискових, стрічкових гальмах, гасителях коливань. Такі матеріали мають володіти максимальним коефіцієнтом тертя [2].

Використання таких матеріалів забезпечує високий технічний та економічний ефект завдяки спрощенню конструкції пристроїв, підвищенню надійності роботи вузлів тертя, збільшенню терміну експлуатації машин, зниженню витрат на ремонт і подовженню міжремонтних періодів, а також сприяє значній економії металів. Це дає можливість звільнити виробничі площі та зменшити кількість металорізальних верстатів. Крім того, поліпшуються умови праці в автомобільній промисловості.

Достатньо широке застосування ФПМ обумовлене досить хорошими експлуатаційними властивостями: високе та постійне значення коефіцієнту тертя у інтервалі експлуатаційних тисків, температур та швидкостей, задовільна зносостійкість, доступна вартість та простотою виготовлення. Недоліком виробів з

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

фрикційних полімерних матеріалів вважають відносно невисоку їх теплостійкість, яка залежить від термостійкості полімерної матриці. Цей факт обмежує використання фрикційних полімерних деталей в умовах тертя, коли температура досягає 400 °С, а тиск 6 МПа [3].

Головною вимогою до матеріалів такого типу є висока зносостійкість, яка визначається поєднанням у матеріалі певних фізико-хімічних, фізико-механічних, теплофізичних і трибологічних характеристик, а також специфікою навантажень і кінематикою вузлів тертя.

Через недостатню фрикційну теплостійкість, термопластичні матеріали для гальмівних пристроїв застосування не знайшли. Що стосується фрикційних термореактивних матеріалів справи інші. В якості одного із видів олігомерного сполучного застосовують резольні фенолформальдегідні, а інколи і амідальдегідні смоли.

Ученими досліджено, що найкраща теплостійкість у матеріалів на основі гетероциклічних полімерів – поліімідів [4].

В даний час, триботехнічне матеріалознавство розвивається швидкими темпами. Проблема розробки та використання нових полімерних матеріалів для вузлів тертя стає надзвичайно актуальною, оскільки вони сприяють підвищенню якості, надійності та довговічності машин і агрегатів, а також суттєво знижують витрати на їх обслуговування та ремонт.

2.2 Вибір матриці для фрикційних полімерних матеріалів з підвищеною термостійкістю

Епоксидно-новолачні фрикційні реактопласти (ФРП) відрізняються від інших фрикційних полімерних матеріалів своєю універсальністю, технологічністю, а також порівняно низькою вартістю. Такі реактопласти за механізмом фрикційної дії виділяються у дві групи.

В фрикційних матеріалах першої групи збільшення коефіцієнту тертя досягається в основному за рахунок вибору сполучного із збільшеною

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

молекулярною масою фрагменту міжвузлового просторової сітки.

У матеріалах другої групи застосовують жорстке та теплостійке сполучне. Тертя у даних фрикційних матеріалів проходить у склоподібному стані. Величину коефіцієнту тертя регулюють підбором безпосередньо складу сполучного, а також режимів його перетворення у твердий стан, видом та кількістю наповнювачів, вміст яких інколи може досягати навіть 90 % обсягу ФРП.

У якості сполучної речовини у фрикційних полімерних матеріалів з каучуків використовують бутадієнові (СЕБ, СКБСР, СКД), бутадієн-нітрильні (СКН-26 М), а також бутадієнметилвініл-піридинові, стирольні та метилстирольні синтетичні каучуки. Досить часто можливе застосування фенолформальдегідних смол.

Фрикційні полімерні матеріали на основі чистих фенольних смол характеризуються підвищеною крихкістю та порівняно низьким коефіцієнтом тертя. Щоб уникнути цих недоліків застосовують модифіковані смоли, модифікаторами яких є такі продукти, як каніфоль, лляна олія та інші. Вироби фрикційні на каучуковому сполучному мають досить високий коефіцієнт тертя та достатню зносостійкість за температур 200–250 °С. При вищих температурах у навантажених вузлах тертя каучукові фрикційні полімерні матеріали мають недостатню зносостійкість і низький рівень коефіцієнта тертя та внаслідок цього підвищену інтенсивність зношування.

Безпосередньо смоли підвищують виробам теплостійкість. Недоліком виробів на смоляному сполучному вважають низький та недостатньо стабільний при підвищенні температури коефіцієнт тертя. Серйозним недоліком порівняно з каучуковими матеріалами буде і підвищена рихкість.

Використання сполучного комбінованого, поєднавши каучук та смолу, надає можливість поєднати позитивні властивості каучуку та смоли у одному виробі. Волокна та частинки, які з'єднані між собою за допомогою сполучного, при подальшій термічній обробці, такій як вулканізація або бакелізація утворюють монолітний матеріал. Процес вулканізації каучуку виконується при допомозі сірки 9–12 мас. %. Здійснюється затвердіння резольних смол під час нагрівання, новолакових затвердіння проходить також нагріванням але у присутності

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

затверджувача гексаметилентетраміну.

Низька теплостійкість фрикційних полімерних матеріалів обмежує можливості застосування їх.

Оскільки традиційні полімерні композиційні матеріали за температур вищих 200 °С втрачають деформаційну стійкість, тому для теплонавантажених конструкцій вони не придатні [2].

Досліджено вченими, що полімерні композиційні матеріали з поліілідів можуть працювати у інтервалі температур від 196 °С до 400 °С. Жорсткість макромолекул цих композитів, висока полярність ланок при високій концентрації циклів привели до неплавкості та відсутності розчинності більшості високомолекулярних лінійних поліілідів. При цьому температура їхнього розм'якшення становить 390–430 °С, вона близька до температури деструкції 420–460 °С. В'язкість розм'якшеного поліілиду становить 10^8 – 10^9 Па·с [5].

Нерозчинність та неплавкість поліілідів спричиняють значні труднощі при спробах виготовлення наповнених пластиків та виробів з них за допомогою традиційних методів і на стандартному обладнанні. Тому порошки поліілідів рекомендовано змішувати з порошками наповнювачів з наступною переробкою способом спікання у заготовки простих форм за температури 400–450 °С та тиску 100–150 МПа з наступною механічною обробкою у виробі.

Щоб досягти розчинності полімеру на стадії наповнення та плавкості заготовки на етапі формоутворення виробів, було синтезовано різних типів форполімери та олігомери. У цих синтезованих полімерів після закінчення формоутворення заготовки проходить перехід у високомолекулярний лінійний або сітчастий поліамід. Проте, форполімери, такі як поліамідокислоти, поліамідоєфіри та олігомери–олігоамідокислоти, олігоіміди будуть розчинні лиш у висококиплячих амідних розчинниках.

Для того, щоб знизити або виключити використання висококиплячих розчинників на стадії наповнення та досягти необхідний ступінь наповнення за один цикл просочення, була впроваджена технологія PMR – полімеризація мономерних реагентів на поверхні наповнювача. Особливість даної технології в

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

тому, що наповнювач поєднують з розчином суміші вихідних компонентів полііміду. Використання нижчих спиртів як розчинників призводить до того, що їх температура випаровування збігається з температурою стадії утворення полііміду. При підвищеній температурі, яка виникає під час формування виробу, завершується хімічна реакція формування сітчастого полііміду [6].

2.3 Характеристика імідних сполучних АПІ та матеріалів на їх основі

Досліджено, що найвищою теплостійкістю характеризуються матеріали на основі гетероциклічних полімерів – це полііміди. На основі цих матеріалів розроблені марки полімерних матеріалів. Найпоширенішими серед них відомі під марками СП та АПІ-2 (зарубіжні аналоги PMR-11, 15, LARC-160).

Складається АПІ-2 із суміші трьох імідоутворюючих мономерів. В процесі взаємодії цих трьох мономерів утворюється олігоімід, який містить π -зв'язки у кінцевих ланках. Ці олігоіміди, переходячи у сітчастий поліімід, тверднуть в результаті реакції піролітичної полімеризації.

У складі АПІ-2 процеси видалення розчинника, утворення олігоіміду та його перетворення на сітчастий поліімід відбуваються послідовно й не накладаються один на одного.

В наповненому напівфабрикаті олігомерна форма сполучної речовини гарантує необхідну плинність на етапі формування.

В'язкість олігоіміду АПІ-2 при температурі 250–290 °С становить приблизно 10^6 Па·с, а формування проходить за температури 340–360 °С. Деталі на основі АПІ-2 під час експлуатації відповідають високим фізико-механічним властивостям у широкому діапазоні температур.

Проте, сама переробка композиції на основі АПІ-2 ливарним або безпосередньо пресуванням ускладнена тим, що затвердіння по кінцевих циклічних ланках при температурах плавлення олігоіміду не відбувається. Крім того, різке підвищення в'язкості олігоіміду при температурі затвердіння веде до того, що виділити стадію в'язко-плинного стану сполучної речовини неможливо, а

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідно, і сформувані виріб. Можна зробити висновок: умови формування композицій на основі АПІ-2 не відповідають вимогам, які пред'являються до композиційних полімерних матеріалів, що використовують для формування виробів прямим або ливарним пресуванням. Для заповнення форм методом прямого пресуванням матеріал має мати в'язкість біля 10^7 Па·с. Крім того, тривалість в'язко-текучого стану композиційного матеріалу, який твердіє, має бути лише 1–3 хвилини. Безпосередньо затвердіння повинно проходити за 2–4 хвилини витримки матеріалу у формі та при незмінній температурі форми.

Так як технологічні характеристики композиційних матеріалів на основі АПІ-2 не відповідають вище викладеним вимогам, то потрібно підшукати компоненти, присутність яких в складі поліімідного полімерного матеріалу допомагали б зберегти його тепло- та термостійкість, а також додали б те поєднання технологічних характеристик, які дали б можливість застосовувати до імідопластів традиційні схеми переробки реактопластів на класичному технологічному обладнанні та оснащенні.

Покращити технологічні властивості композиційного матеріалу можливо завдяки зниженню в'язкості складу за допомогою активного розчинника, який знижує в'язкість, проте не погіршує якість самого виробу.

Зв'язувальне імідне АПІ у процесі отримання композиційного матеріалу, а далі деталей та виробів з них, із суміші імідоутворювальних мономерів переходить в аміносоль ефірокислоти, потім у олігоамідокислоту, олігоімід і на останній стадії у сітчастий поліімід. Три початкові реакції мають закінчення в період виготовлення композиційного матеріалу при поєднанні з наповнювачем та підготовці до формування, остання – у період безпосереднього формування виробів. Етап виготовлення композиційного матеріалу на основі сполучного АПІ-2 є досить тривалим, так як його доводиться виконувати за ступінчастим режимом. Це викликано тим, що паралельно з утворенням олігоамідокислоти, а далі олігоімиду при безперервному підвищенні молекулярної маси та в'язкості, потрібно у повному обсязі видалити розчинник задля того, щоб знизити пористість майбутніх виробів.

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так як при допомозі активного компонента можливе значне поліпшення технологічних характеристик традиційних зв'язувальних компонентів, не знижуючи експлуатаційних властивостей, у даній роботі планується використати цей принцип і щодо складу АПІ.

У цьому випадку активний компонент повинен задовільняти ряд вимог:

а) не вступаючи в хімічну взаємодію поєднуватися з імідоутворювальними мономерами, їх суміш має представляти собою низьков'язку стабільну рідину;

б) на етапі утворення олігоіміду, знижуючи в'язкість складу, виступати у ролі розчинника, що повинно привести до пригнічення процесу міжмолекулярної взаємодії сусідніх олігомерних молекул, а, відповідно, до створення більш досконалої структури олігоіміду;

в) напівфабрикат як активний компонент в процесі зберігання повинен бути сухим, не липким та легко дозуватися;

г) на етапі формування активний компонент має знижувати в'язкість розплаву олігоіміду, при цьому покращуючи під час формування плинність, а також, щоб цей компонент виконував функцію ініціатора процесу затвердіння АПІ, знижуючи температуру даного процесу;

д) в процесі імідизації та наступного затвердіння олігоіміду цей активний компонент із системи не повинен видалятися;

е) наявність додаткового компонента не має знижувати теплостійкості та експлуатаційних характеристик на його основі.

З вище перерахованих вимог впливає, що на початковому етапі активний компонент повинен бути рідиною низькомолекулярною, а на послідуєчих етапах має досягти великої молекулярної маси, задля уникнення випаровування. Такою хімічною сполукою, яка б могла виконати поставлені вимоги, рекомендовано фуриловий спирт.

Фуриловий спирт можна використовувати як розчинник на етапі змішування сполучного з наповнювачем. Процеси хімічного перетворення фурилового спирту в олігомер, далі у лінійний полімер і, зрештою, у сітчастий полімер можуть бути скоординовані з етапами хімічних змін складу АПІ.

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Додавання полімеру-розріджувача доцільно виконувати на початковому етапі синтезу полііміду АПІ. Щоб забезпечити молекулярне суміщення компонентів, доцільно використовувати розріджувач у формі мономеру, який згодом перетворюється на лінійний полімер.

Використовуючи системи поліімід-фурановий полімер на початковому етапі потрібно застосовувати розчин імудоутворювальних мономерів, таких як кислі ефіри ароматичної тетракарбонової і ненасиченої циклоаліфатичної кислоти та ароматичного діаміну в співвідношенні 1:2:2 у фуриловому спирті. Щоб синхронізувати умови утворення олігоіміду та фуранового полімеру на початку у склад потрібно ввести малеїнову кислоту у якості каталізатора при поліконденсації фурилового спирту. Виконуючи функцію розріджувача олігоіміду, такий фурановий полімер знижує в'язкість матеріалу, що полегшує заповнення форм. Так як піролітичне руйнування π -зв'язків фуранового циклу проходить за більш низьких температур, ніж ендикового циклу, то як ініціатор фурановий полімер пришвидчує затвердіння олігоіміду та бере участь в утворенні сітчастого полімеру. Ендиковий цикл — це циклічна структура, що містить ендійну групу, тобто два потрібні зв'язки, які знаходяться на кінцях одного циклічного ланцюга, або близько один до одного в циклі. Безпосередньо процес затвердіння олігоіміду у присутності фуранового полімеру поділяють на дві стадії: перша – це поділ суміші полімерів, вивільненням у самостійну фазу фуранового полімеру з паралельним розділом подвійних зв'язків фуранового циклу; друга – це процес полімеризації олігоіміду на межі поділу фаз, який визваний радикалами, що утворилися у фурановому полімері. АПІ, в якому в якості розчинника застосовано фуриловий спирт, позначають АПІ-3.

При наявності у складі сполучного фуранового полімеру спостерігається збільшення часу в'язко-текучого стану, одночасно затвердіння олігоіміду відбувається при зниженні температури до 300 °С, а також скорочується і тривалість затвердіння. На початку етапу затвердіння ефективна енергія активації знижується від 93,2 кДж/моль до 53,0 кДж/моль, так як фурановий полімер безпосередньо приймає участь у реакції полімеризації олігоіміду. При цьому,

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидше всього на межі поділу фаз утворюється сітчастий фурановий полімер. Тиск формування має такий самий вплив на поведінку олігоїмідів та композиційного матеріалу на їх основі, як і у випадку фенопластів.

В'язкість наповнених олігоїмідів АПІ-2 та АПІ-3 при температурі плавлення буде аналогічною в'язкості прес-порошків фенольних, величина яких складає 10^6 – 10^7 Па·с. У порівнянні з ненаповненими олігоїмідами час в'язко-текучого стану наповнених олігоїмідів скорочує наявність наповнювача.

У композиційного матеріалу на основі АПІ-2 термін в'язко-текучого стану при температурі 320–340 °С скорочується до нуля. Тому формувати вироби необхідно за дві стадії: при температурі 290 °С виконують формоутворення, а при температурі 340 °С проводять затвердіння.

Композиційний матеріал на основі АПІ-3 формують у одну стадію при температурі затвердіння виробу. Рекомендовано пресувати композиційний матеріал на основі АПІ-3 за температури 300 °С та тиску 10–20 МПа в залежності від наповнювача, який застосовується. Термін подачі тиску та затвердіння залежить від виду наповнювача. Наповнювач вуглецевий значно скорочує час в'язко-текучого стану композиційного матеріалу на основі АПІ-3: з 9 хвилин до 4 хвилин при температурі 300 °С, проте не впливає на термін реакції затвердіння. У випадку застосування базальтового чи скляного наповнювача час в'язко-текучого стану теж скорочується при температурі 300 °С у порівнянні з ненаповненим АПІ-3, а за температури 270 °С, навпаки, збільшується при сповільненні стадії затвердіння. Ускладнює його прогрівання на початковій стадії затвердіння розпушеність напівфабрикату композиційного полімеру (КП) та низька теплопровідність наповнювача, підвищуючи на даній стадії енергію активації. У випадку, чим теплопровідність вища наповнювача та ступінь асиметрії частинок його, тим швидше енергія активації початку затвердіння досягає значення енергії активації сполучного. Достатньо тривалий термін в'язко-плинного стану усіх композиційних матеріалів на основі АПІ-3 при температурі 270 °С застосовують для попередньої пластикації при пресуванні литтям. Час такого в'язко-текучого стану імідопластів при температурі 300 °С складає 3–4 хвилини і він є меншим,

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ніж при температурі 270 °С. Проте, цього часу достатньо для початкового підігріву у полі струму високої частоти матеріалу у вигляді пластин, призначеного для прямого пресування, а це скорочує час знаходження матеріалу у формуючому обладнанні. Щоб підвищити теплостійкість доцільно виконувати додаткову термообробку пластин поза формувальним обладнанням за температури 350 °С.

2.4 Експлуатаційні властивості виробів на основі АПІ-3

Коли у складі затверділого полііміду присутній фурановий полімер, не відбувається зниження температури початкової термодеструкції і не підвищується втрата маси у процесі деструкції полімеру, навіть при прогрівання до температури 600 °С. На базі АПІ-3 були винайдені композиційні матеріали з підвищеним рівнем робочих температур із застосуванням досить різними наповнювачів, таких як рубані вуглецеві, скляні, базальтові волокна, термоантрацит порошкоподібний.

Такі розроблені полімерні композиційні матеріали на основі АПІ-3 не змінюють своїх характеристик на протязі тривалого часу, до 12 місяців.

При одержанні антифрикційного самозмашувального матеріалу (АСП), застосовуючи зв'язувального АПІ-3, використано технологічну схему одержання преспорошків на основі порошкоподібних наповнювачів та розчину зв'язувального. Сам склад та кількість наповнювача залишились такими ж, як і в АСП та АТМ-2, а саме: суміш порошкоподібного термоантрациту і графіту природнього у відношенні 9:1, при вмісті наповнювача 50–55 відсотків маси.

Пресувальний порошок на основі АПІ-3 (марки ІПІ) готували методом перемішування сполучної речовини АПІ-3 та наповнювача у змішувачі лопатевого типу для одержання однорідного складу з наступною термообробкою його для отримання із сполучної речовини олігоімідної форми. Після сушіння масу подрібнювали у кульовому млині до розмірів гранул діаметром 0,15–0,25 мм.

Дослідження технологічних характеристик розробленого на основі АПІ-3 ІПІ показало, що даний КП придатний для переробки у виробі прямим пресуванням.

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В'язкість матеріалів та умови затвердіння дозволяють виконувати пресування аналогічно, як і фенопластів, тобто у одну стадію, що не дало змоги реалізувати при умові використання сполучного АПІ-2. Імідопласти на основі АПІ-3 за оптимальної температури затвердіння 300 °С зберігають в'язко-текучий стан на протязі часу, який достатній для прогріву матеріалу по всьому виробу та створення тиску формування. При порівнянні властивостей композиційних матеріалів на основі АПІ-3 та АПІ-2 виявили, що використання фурилового спирту як активного компоненту, що проходить модифікацію, в складі імідоутворюючих мономерів не змінює механічних характеристик стандартних зразків як при температурі 20 °С, так і при підвищених температурах.

Показники міцності полімерних композиційних матеріалів на основі АПІ-2 та АПІ-3 аналогічні показникам характеристик фенольного пресматеріалу ВПМУ-1 за температури 20 °С. Відрізняються імідопласти АПІ від ВПМУ-1 значно вищою теплостійкістю, навіть при температурі 350 °С вони зберігають 81–82 відсотки вихідної міцності під час згину та 62 відсотки – ударної в'язкості. Показники властивостей ВПМУ-1 вже при температурі 20 °С знижуються на 50 відсотків.

Якщо замінити у складі АСП АТМ-2 термопластичну матрицю на АПІ-3 можливе підвищення теплостійкості АСП з температури 90 °С до 350 °С. Основні механічні, окрім міцності при згині, та триботехнічні характеристики матеріалу ІПІ у порівнянні з АТМ-2 не погіршуються.

Отже, вважаємо доцільним для виготовлення фрикційних накладок застосовувати склад АПІ-3, так як даний склад характеризується у порівнянні з АПІ-2 нижчою в'язкістю, окрім того формується в одну стадію при температурі затвердіння виробу і не знижує основних механічних характеристик стандартних зразків як при температурі 20 °С, так і при підвищених температурах [6].

2.5 Вибір і характеристика основного наповнювача для фрикційних полімерних матеріалів

Найбільш використовуваним армувальним компонентом для фрикційних

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

полімерних матеріалів раніше було азбестове волокно. Це волокно має високу міцність до 3 ГПа, тому забезпечує високі механічні властивості та теплостійкість. Міцність азбестового волокна за температури 400 °С знижується лише на 20 відсотків, а повне руйнування відповідає температурі 700–800 °С. У гальмах та муфтах зчеплення фрикційні деталі працюють в умовах змінних теплових навантажень, тобто періодично зазнають нагрівання та охолодження.

Для підвищення стійкості деталей до розтріскування виконують армування їх азбестом. Здатність азбесту очищати поверхні тертя від забруднень забезпечує високі показники коефіцієнта тертя до 0,8.

Із-за шкідливого впливу на здоров'я людини та навколишнє середовище застосування азбесту у багатьох вузлах тертя заборонено організацією ЮНЕСКО. Перед науковцями виникла серйозна науково-технічна проблема по заміні азбесту у полімерних фрикційних матеріалах на інший екологічний матеріал.

У вигляді армувальних компонентів крім азбесту застосовують шлакову мінеральну вату. Що стосується даної вати, то вона не руйнується при температурі до 700 °С, проте характеризується крихкістю і в її складі налічуються тверді включення, які наносять пошкодження поверхні фрикційного контртіла. Враховуючи це шлакова мінеральна вата має обмежене застосування.

Також в якості армувальних компонентів використовують базальтові, вуглецеві, скляні та інші волокна [7].

Одним з альтернативних методів вирішення задачі створення безазбестових виробів фрикційного призначення вважається застосування базальтових волокон (БВ) для армування з підвищеним коефіцієнтом тертя полімерних фрикційних матеріалів. Дослідження підтвердили, що полімерні композиції, які наповнені базальтоволоконними наповнювачами, за зносостійкістю аналогічні композитам, армованих азбестом, а за коефіцієнтом тертя значно перевершують їх.

Так як базальтові волокна у порівнянні з азбестовим мають істотну перевагу по жароміцності і жаростійкості, то армування ними композиту дає можливість працювати у більшому температурному інтервалі, а це поліпшує експлуатаційні властивості полімерного матеріалу.

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрім того, базальт є екологічно чистим, не виділяє шкідливих продуктів навіть за підвищених температур.

Вчені винайшли базальтові волокна, які отримують з розплавів базальтових гірських порід. Розроблена і технологія виробництва виробів з них.

Основні переваги перспективних базальтових фрикційних матеріалів наступні:

- перевага по температуростійкості, вібростійкості, довговічності та теплозвукоізоляційним властивостям у порівнянні з використовуваними;
- негорючість, вибухобезпечність, екологічна безпека;
- хімічна інертність, ці матеріали не утворюють і не виділяють токсичних речовин;
- доступна вартість виробів із них у порівнянні з вартістю виробів з другими армувальними волокнами;
- необмеженість сировинних запасів базальту.

В таблицях, наведених нижче, представлені статистичні величини розподілу пружно-міцнісних та деформаційних характеристик базальтових волокон.

Названі характеристики знаходяться у тих же межах, що й для вуглецевих волокон, які мають однорідний хімічний склад та одержані безперервним методом (Таблиці 2.1–2.2).

Дискретні базальтові волокна, одержані при допомозі так званого ендикового циклу та з застосуванням високочастотного індукційного обладнання з виконанням роздування повітрям при нормальних та підвищених температурах, в значній мірі відрізняються за всіма параметрами від волокон, виготовлених безперервним способом (таблиця 2.1.). Ендиковий цикл — це циклічна структура, що містить ендийну групу, тобто два потрійні зв'язки, які знаходяться на кінцях одного циклічного ланцюга, або принаймні близько один до одного в циклі.

Їх міцність в 2,1–5,3 рази поступається міцності ровінгу, а модуль пружності – в 1,2–2,7 рази.

Діаграма розтягу вуглецевих та базальтових волокон зображена на рисунку 2.1 [4,8].

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Таблиця 2.1 – Механічні властивості базальтових волокон

Параметри волокон, що визначаються	Вид волокна, метод одержання					
	Ровінг			Дуп- лекс – процес	Роздув	
	РБН (б) 23 – 1200	РБ 10 – 1000	РБК – 600		Гарячим повітрям	Повітрям при нормальній температурі
Кількість моноволокон	20	20	25	23	9	26
Середнє значення діаметру волокна, d, мкм	10,1	10,5	9,5	12,2	6,3	14,8
Коефіцієнт варіації V_d значень d_i , %	9,1	13,5	19,2	37,7	47,6	48,0
Середнє значення міцності σ , МПа	2880,0	1760	3470	731,8	840,3	656,3
Коефіцієнт варіації V_d значень σ_i , %	44,5	29,5	25,6	102,0	40,4	90,9
Середнє значення модуля пружності E, ГПа	91,9	87,5	86,1	66,8	71,9	34,6
Коефіцієнт варіації V_d значень E_i , %	7,0	9,5	12,7	120,3	27,3	93,4
Середнє значення граничної деформації ϵ_r , %	3,29	2,13	4,36	1,12	1,17	1,90
Коефіцієнт варіації V_d значень ϵ_r , %	44,2	32,7	24,3	26,8	29,8	29,5

З ціллю порівняння були досліджені вуглецеві волокна типу УКН-5000 круглого поперечного перерізу, дані наведені в таблиці 2.2 [8].

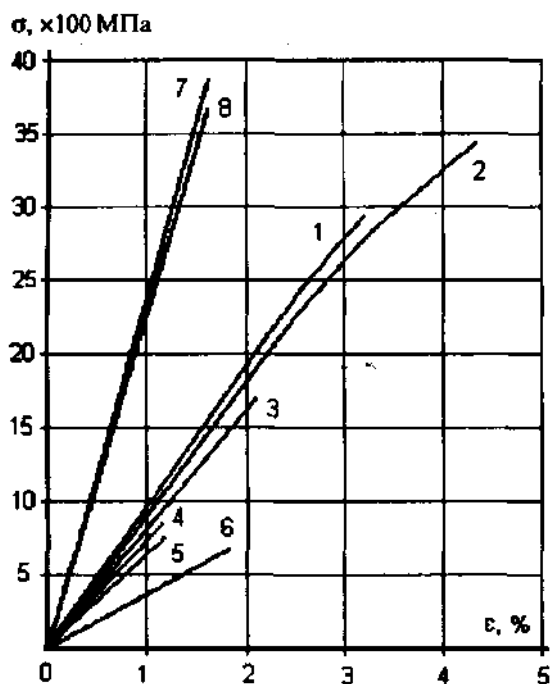
					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз наведених результатів показав, що механічні характеристики базальтових волокон знаходяться у тих же межах, що й для вуглецевих волокон.

Таблиця 2.2 – Механічні властивості вуглецевих волокон УКН – 5000 круглого перерізу

№ партії	d	V _d	σ	V _σ	E	V _E	ε _{пред}	V _ε
	мкм	%	МПа	%	ГПа	%	%	
1	6,9	9,0	3779,8	26,6	218,8	11,0	1,72	25,5
2	6,9	8,1	3816,1	22,1	226,7	14,0	1,68	22,5
3	6,7	7,2	3929,9	26,2	226,0	9,5	1,72	23,8

Отже, обрано базальтовий волокнистий наповнювач у якості основного наповнювача у полімерному фрикційному матеріалі, так як даний наповнювач забезпечує потрібні міцнісні та фрикційні характеристики виробів і є екологічним, тобто не виділяє шкідливих для людини та навколишнього середовища продуктів на відміну від азбестового наповнювача.



1 – РБН (б) 23-1200; 2 – РБ-10-1000; 3 – РБК-600; 4 – роздув гарячим повітрям; 5 – фільтрний метод; 6 – роздув повітрям за нормальної температури; 7,8 – УКН-5000

Рисунок 2.1 – Діаграма розтягу вуглецевих та базальтових волокон [4,8]

2.6 Вибір складу термостійкого фрикційного полімерного матеріалу

При розгляді вище було доведено, що для одержання термостійкого фрикційного полімерного матеріалу доцільно застосовувати як сполучний імідний склад АПІ-3, а як основний наповнювач для забезпечення фрикційних показників та несучої здатності рекомендований базальтовий волокнистий наповнювач.

Щоб забезпечити швидке відведення тепла, яке спостерігаємо під час тертя, до складу матеріалу потрібно додати компоненти з високою теплопровідністю. Така властивість відповідає таким компонентам, як вуглецеве волокно, графіт, мідний порошок, латунна стружка (Таблиця 2.3) [2].

Таблиця 2.3 – Склад для фрикційних полімерних матеріалів

№	Базальтовий наповнювач, % мас	Зв'язуюче, % мас	Вуглецеве волокно, % мас	Графіт, % мас	Мідний порошок, % мас	Латунна стружка, % мас	ПАР, % мас
1	45	35	5	-	-	15	0,2
2	50	37	-	5	8	-	0,2
3	50	35	-	5	4	5,8	0,2

Умови формування виробу, його конфігурація вимагає, щоб напівфабрикат фрикційного полімерного матеріалу являв собою пресувальний матеріал, який дозується: гранули голчастого типу, у яких волокнистий наповнювач має довжину від 5 до 20 мм та вкритий оболонкою сполучної речовини, у складі якої інші компоненти матеріалу. Отже, сполучна речовина – це суспензія. Щоб дана суспензія була стійкою, компоненти її повинні бути дрібнодисперсними. Для забезпечення цих властивостей вибрано склад №3, який містить мідний порошок, графіт та латунну стружку. Під час зберігання гранули пресувального матеріалу не повинні злипатися.

Щоб отримати оптимальні умови пресування фрикційної накладки пресувальний матеріал – дозувальний базальтоволокніт на основі імідного зв'язувального АПІ-3 має відповідати наступним вимогам:

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– вязкість за температури формування 300 °С повинна бути у межах 10^6 – 10^7 Па·с;

- час вязкотекучого стану має тривати 6 хвилин;
- час затвердіння фіксовано 20 хвилин;
- наявність летких речовин не більше 10 % маси.

Пресувальний матеріал повинен мати термін зберігання не менше одного року, тобто зберігати свої властивості в такому часі [6].

Такого типу напівфабрикати частіше всього одержують методом поєднання сполучної речовини із волокнистим наповнювачем за розчиненою технологією, застосовуючи метод занурення. Дана технологія виконується на просочувальних установках, що дають можливість забезпечити заданий ступінь наповнення. Потім потрібно видалити розчинник та низькомолекулярні фракції зі сполучного і забезпечити необхідну довжину гранул, зберігаючи при цьому механічні властивості наповнювача [9].

Для одержання пресувального матеріалу застосовують наповнювач у вигляді стрічок, ниток, джгутів та тканин, в залежності від вимог до експлуатаційних властивостей матеріалу виробу, а також продуктивності процесу в цілому.

2.7 Отримання фрикційного пресувального матеріалу в лабораторних умовах і дослідження технологічних властивостей

Щоб оцінити ефективність рекомендованого зв'язувального та наповнювача та для перевірки технології одержання та пресування термостійкого фрикційного полімерного матеріалу в лабораторних умовах було розроблено пресувальний матеріал, у складі якого імідне зв'язувальне АПІ-3, як основний наповнювач базальтові волокна та вуглецеві волокна для підвищення теплопровідності матеріалу.

Склад матеріалу:

- сполучна АПІ-3.....30 % об'ємних;
- базальтовий наповнювач.....50 % об'ємних;

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

– вуглецевий наповнювач.....20 % об'ємних.

Матеріал отримали таким чином:

порізали базальтову тканину розмірами 400×400 м, розклали на поліетиленову плівку, поверх базальтового наповнювача нанесли з скляної ємності розраховану величину імідного зв'язувального АПІ-3.

Потім накрили такою ж поліетиленовою плівкою та рівномірно легко притискаючи розподілили сполучний імідний зв'язувальний шпателем по всій площі тканини. З ціллю забезпечення просочення наповнювача, тканину зі сполучною АПІ-3 витримали між поліетиленовими плівками не менше двох годин. Заготовлену просочену тканину розташували на решітчастий піддон, видаливши перед тим плівки. Далі піддон з напівфабрикатом завантажували у термошафу для виконання процесу синтезу олігоіміду на поверхні наповнювача.

Процес термообробки напівфабрикату виконувався для утворення олігоіміду із суміші імідоутворюючих мономерів АПІ-3 за таких умов:

- нагрів від температури 20 °С до 180 °С з швидкістю 4–6 °С в/хв;
- витримка за температури 180 °С на протязі однієї години;
- вільне охолодження за межами термошафи.

Потім розрізали ножицями листи просоченої тканини на відрізки розмірами 15×1,5 мм. З ціллю одержання напівфабрикату для формування, змішували базальтовий просочений та вуглецевий наповнювач у попередньо розрахованому співвідношенні. Засипавши у скляну ємність, перемішали до стану статистичного змішування.

Підготовлений напівфабрикат завантажують у пресувальну форму та виконуємо пресування на лабораторному пресі.

Режим пресування витримували наступний:

- завантаження напівфабрикату у пресувальну форму виконується при температурі 20 °С;
- встановлення форми під прес розігрітою до температури 300 °С;
- створення тиску 2 МПа згідно манометра пресу;
- витримка на протязі 25 хвилин;

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

- зняття тиску у пресувальній формі з послідуочим вільним охолодженням;
- розбирання пресувальної форми та вийняття зразка матеріалу.

Одержані зразки матеріалу були у вигляді таблеток радіусом 1,25 мм та товщиною 6 мм.

Дотримання режиму пресування виконували в основному за тиском пресування ($P_{пр}$).

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ТЕРМОСТІЙКОГО ФРИКЦІЙНОГО ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ

3.1 Розроблення технології отримання матеріалу на основі АПІ-3

Для одержання пресувального матеріалу застосовується сполучна імідна складова мономерного типу АПІ-3 та базальтова нитка марки РБК-600. Прозора рідина червоно-коричневого кольору служить зв'язувальним розчином, це 60-процентний розчин імідоутворювальних мономерів у фуриловому спирті.

Коефіцієнт рефракції 60- відсоткового розчину АПІ-3 при температурі 20 °С знаходиться у межах 1,522–1,526, а поверхневий натяг має значення 32,5 дін/см². Кут змочування сполучної фракції за температури 20 °С становить: вуглецевого волокна – 25 градусів; базальтового – 10-120 градусів, а скляного – 12-160 градусів. В якості наповнювача застосовується базальтова нитка РБК-600. Ступінь наповнення в пресувальному напівфабрикаті визначається, враховуючи об'єм летких речовин у зв'язувальній фракції, необхідний ступінь наповнення матеріалу після затвердіння, який рівний 60 % маси.

Так як зв'язувальні рідини характеризуються легко регульованою в'язкістю, то для одержання пресувального матеріалу рекомендовано метод занурення, який виконується на просочувальному обладнанні.

На етапі просочення зануренням наповнювач у вигляді ниток змотується з бобін і трактом для просочення подається у ванну з сполучною речовиною. При виході з просочувальної ванни виконується віджимання надлишку сполучної речовини і пресувальний напівфабрикат подається у сушильну камеру, де проходить видалення розчинника та початкове затвердіння сполучної речовини. Далі з сушильної камери безперервний матеріал направляється на автоматичні ножиці, якими ріжеться на гранули необхідної довжини та зсипається у тару [9].

У ванні з сполучною речовиною на глибині Н перебуває нитка наповнювача діаметром 2R. В міжволоконний простір нитки зв'язувальна фракція проникає через бічну поверхню, а також через щілини шириною δ , утворені паралельно

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

укладеними елементарними волокнами.

Рух сполучного на етапі просочення волокнистого наповнювача наглядно описується законом Дарсі:

$$V_{\phi} = -\left(\frac{K}{\eta}\right) \cdot \left(\frac{dp_n}{dR}\right), \quad (3.1)$$

де: V_{ϕ} – швидкість фільтрації;

K – коефіцієнт проникності;

η – в'язкість;

dp_n/dR – градієнт тиску за радіусом джгута.

Формула, яка пов'язує коефіцієнт проникності K з властивостями наповнювача, відповідно до теорії гідравлічного радіусу, має наступний вигляд:

$$K = a\Pi^3 / bf \cdot (1 - \Pi^2), \quad (3.2)$$

де: $a = \sin^2 \alpha$ – фактор орієнтації каналів пор до напрямку потоку сполучного (у випадку хаотично розподілених волокон $a = 0,75$);

b – фактор форми каналів

(для каналів між прямолінійними циліндрами $b = 3$);

f – питома поверхня волокон (відношення одиниці поверхні волокна до площі його поперечного перерізу).

Тиск просочення (P_n) розраховуємо за формулою, відповідно капілярному, гідростатичному й атмосферному тиску:

$$P_n = 2 \cos \theta / \delta + \rho g H + P_{атм} - P_{нов}, \quad (3.3).$$

Повітря, яке перебуває в міжволоконному просторі, чинить опір руху сполучного полімеру під дією тиску $P_{нов}$. В результаті дії питомої капілярної сили ΔF_2 , яку визнають за формулою:

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta F_2 = \sigma \sin \theta \quad (3.4)$$

проходить зближення елементарних волокон, що приводить до зменшення δ та зниження швидкості просочення.

Відомі такі способи просочення: вакуумне просочення – вакуумуванням міжволоконного простору наповнювача, просочення з накладанням механічних коливань – у зв'язувальному збудження акустичного тиску, пневматичне просочення – збільшення тиску над вільною поверхнею зв'язувального, відцентрове просочення – накладанням на зв'язувальне відцентрових сил [10].

При виході з просочувальної ванни окрім сполучного, що заповнює міжволоконний простір, поверхнею волокнистого наповнювача захоплюється іще деякий об'єм сполучного.

Загальна товщина сполучного для джгута радіуса R , що протягується з швидкістю V через ванну з сполучною речовиною та з об'ємною концентрацією C і в'язкістю η , визначається за формулою:

$$\delta = 1,32RC \left(\frac{\eta V}{\sigma} \right)^{2/3} \quad (3.5)$$

А у випадку просочуваної нитки, яка виходить із ванни під кутом нахилу до горизонту, загальна товщина сполучного розраховується за наступною формулою:

$$\delta = \frac{0,94}{\sqrt{1 - \cos \alpha}} \frac{(\eta V)^{2/3}}{(\rho g)^{1/2} \sigma^{1/6}} \quad (3.6)$$

Потрібний вміст сполучної речовини у пресувальному матеріалі забезпечується віджиманням, яке виконується роликками, ножами чи еластичними губками [10]. Уданому випадку, процес просочення волокнистого наповнювача безпосередньо поєднано з термообробкою та розрізанням готового пресувального матеріалу.

Так як сполучні фракції – це розчини 40-60 процентної концентрації, що характеризуються досить високими швидкостями просочення, тому приходить

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

періодично видаляти значну кількість розчинника. При висоті сушильних камер до 4 метрів та 2–4 проходи препрегів через камеру з швидкістю від 1,0 до 10 м/хв час сушки буде від 0,5 до 15 хвилин. В даних умовах звичайне сушіння вважають малоефективним, так як розчинник видаляється лише з поверхні, а плівка сполучного перешкоджає видаленню розчинника. Для покращення процесу сушіння використовують інфрачервоне сушіння препрегів, з відсмоктуванням парів розчинника. Інфрачервоне сушіння прогріває препрег по всьому об'єму, а саме інтенсивніше поглинає тепло волокнистий наповнювач. Ось тому потік тепла, який переміщається від середини до зовнішньої поверхні препрега, та тверда плівка на даній поверхні практично не утворюється [10].

У сушильній камері енергія випромінювальних елементів Q витрачається на нагрів препрега та випаровування розчинника, а також на нагрів стінок камери, так як волокнистий наповнювач та металеві стінки сушильної камери непрозорі для інфрачервоного випромінювання. А повітря є практично прозорим для інфрачервоних променів, тому відбувається конвективний нагрів лише від стінок камери.

При підрахунку тепла Q , що витрачено для сушіння препрега, задають температуру нагріву стрічки препрега T_c , температуру випромінювачів T , температуру стінки сушильної камери T_k . При цьому має бути визначена номінальна потужність нагрівальної камери, витрати повітря, маса погонного метра препрега, вміст у препрезі сполучної фракції та її концентрація, а також швидкість просочення V . Маючи ці величини, можна визначити площу поверхні випромінювальних плит F_1 , поверхні стрічки препрега F_2 та внутрішньої порожнини сушильної камери F_3 .

Продуктивність обладнання $G_{пр}$ розраховують за формулою:

$$G_{пр} = m_{II} \cdot 60, \quad (3.7)$$

де: m_n – маса погонного метра препрега;

V_n – швидкість просочення.

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Об'єм випарованого розчинника підраховують за формулою:

$$G_P = G_{\text{ПР}} C_{\text{СВ}} \frac{C_{\text{КР}}}{100}, \quad (3.8)$$

де: $C_{\text{СВ}}$ – масовий вміст сполучного, %;

$C_{\text{КР}}$ – концентрація розчинника, %.

Загальна кількість тепла Q_{Σ} , яка потрібна на нагрів стрічки Q_1 , сухого залишку зв'язувального Q_2 , нагрів та випаровування розчинника Q_3 , відповідно дорівнює:

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

або

$$Q_{\Sigma} = C_H m_H \Delta T_H + C_{\text{ЗВ}} m_{\text{ЗВ}} \Delta T_{\text{ЗВ}} + C_P m_P \Delta T_P + q_P m_P, \quad (3.9)$$

де: C_H , $C_{\text{ЗВ}}$, C_P – питомі теплоємності матеріалу наповнювача, зв'язувального та розчинника;

m_H , $m_{\text{ЗВ}}$, m_P – масовий вміст у пререзі;

ΔT_H , $\Delta T_{\text{ЗВ}}$ – різниця між температурою сушіння та початковою температурою зв'язувального та розчинника;

ΔT_P – різниця між температурою кипіння розчинника та початковою температурою;

q_P – питома теплота пароутворення розчинника при температурі кипіння та нормального тиску.

Витрату повітря, яка запобігає утворенню всередині сушильної камери вибухонебезпечного середовища, знаходимо за формулою:

$$V = \frac{m_P}{\text{ГДК} \cdot \text{НМВ}}, \quad (3.10)$$

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де: $G_{ДК}$ – гранично допустима концентрація розчинника;

$НМВ$ – нижня межа вибухонебезпечності.

Тепло, яке необхідне на нагрів повітря:

$$Q_{ПОВ} = C_{ПОВ} V_{ПОВ} (t_1 - t_2), \quad (3.11)$$

де: $C_{ПОВ}$ – об'ємна теплоємність повітря;

t_1 і t_2 - початкова та кінцева температури повітря.

Величина тепла, яка передається випромінюванням препрегу $Q_{П\Sigma}$ від інфрачервоних нагрівачів Q_i та стінок сушильної камери $Q_{СК}$ розраховуємо за формулою:

$$Q_{П\Sigma} = Q_i + Q_{СК}$$

У загальному вигляді тепло $Q_{П\Sigma}$ можна підрахувати по формулі:

$$Q_{П\Sigma} = \varepsilon_{П} C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F_1, \quad (3.12)$$

де: $\varepsilon_{П}$ – приведений коефіцієнт чорноти

$$\varepsilon_{П} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)} \quad (3.13)$$

де: $\varepsilon_1, F_1, \varepsilon_2, F_2$ – коефіцієнти чорноти та відповідно площі нагрітих поверхонь;

T_1, T_2 – температура поверхонь, що нагрівається і випромінюється [9].

Отже, при розробці технології одержання фрикційного пресувального матеріалу способом занурення потрібно враховувати концентрацію та в'язкість фракції зв'язувального, природу та склад наповнювача, поверхневий натяг зв'язувального та змочувальну здатність, а також швидкість дифузії та фільтрації.

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під час термічної обробки зв'язувального АПІ-3 проходить не видалення розчинника, а лише перша стадія синтезу олігоіміду, тобто отримання олігоімідоефіру, що супроводжується утворенням низькомолекулярних летких продуктів реакції. Властивості пресувального матеріалу визначає ступінь синтезу. Сам процес технологічного просочення базальтової нитки зв'язувальною речовиною АПІ-3 відбувається за традиційною технологічною схемою на просочувальному обладнанні. Цей процес поділяють на дві основні частини: просочення наповнювача у просочувальній ванні і термічна обробка просоченого наповнювача у сушильній камері.

Продуктивність процесу, а це швидкість руху наповнювача, визначається перебігом безпосередньо хімічного процесу, що проходить на етапі одержання пресувального матеріалу, а також конструктивними спроможностями сушильної камери, тобто її розмірами та кількістю зон. Алгоритм термічної обробки визначається швидкістю реакції синтезу олігоамідоефіру безпосередньо на поверхні наповнювача, а в даному випадку на поверхні базальтової нитки РКБ-600.

Термін часу, потрібний для проходження фільтрації, змочування та дифузії під час поєднання зв'язувального матеріалу АПІ-3 з базальтовою ниткою РКБ-600, розраховується згідно рекомендацій [9,10] та з врахуванням змочувальної можливості зв'язувального матеріалу АПІ-3, буде набагато меншим, а ніж проміжок часу, що витрачається на виконання процесу синтезу. Саме тому, швидкість переміщення наповнювача у просочувальному обладнанні розраховується з умов синтезу олігоамідоефіру, тобто потреби витримки пресувального матеріалу при температурі 60 °С на протязі 20 хвилин. В існуючому просочувальному обладнанні застосовують сушильні камери, які висотою від 2,5 до 4 метрів та з довжиною переміщення пресувального матеріалу від 5 до 32 метрів. Це забезпечується величиною і кількістю проходів по висоті сушильної камери. Щоб організувати процес отримання пресувального матеріалу на основі АПІ-3, доцільно використовувати сушильні камери висотою 4 метри з трьома проходками матеріалу по їх висоті.

Швидкість руху наповнювача при цьому буде:

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$V_{\text{ПВХ}} = L/\tau = 4\text{ м} \cdot 3\text{ рази} / 20\text{ хв} = 1,2\text{ м/хв} \quad (3.14)$$

Так як для виконання синтезу олігоамідоєфіру на поверхні наповнювача необхідне нагрівання та витримка при постійній температурі 180 °С, то сушильна камера просочувального обладнання буде мати лише одну температурну зону.

При виконанні даного процесу необхідно врахувати комплекс механічних характеристик наповнювача базальтової нитки РБК-600. Базальтові волокна досить легко розпушуються при зіткненні з різними елементами обладнання. Ось чому кількість зіткнень базальтового наповнювача з роликami колійними повинна бути знижена до мінімуму. Доцільно передбачити лише один контакт на вході у просочувальну ванну. Після нанесення сполучної речовини на базальтове волокно, яке забезпечує його захист, кількість контактів не підлягає регламентації.

Ванна для просочування повинна бути обладнана підігрівом з такою потужністю нагрівальних елементів, щоб забезпечити нагрів сполучного матеріалу до температури 55±5 °С – до оптимальної величини в'язкості, не використовуючи додаткових розчинників. В такому випадку у сушильну камеру поступатиме матеріал уже підігрітий до температури термообробки, а це відповідно скорочує загальний час циклу.

У випадку, якщо просочувальна ванна не оснащена нагрівальними елементами й просочення виконується за температури довкілля, сполучну речовину слід розбавити до необхідного рівня в'язкості.

У якості розріджувача доцільне використання ацетону, який під час термічної обробки у сушильній камері повністю випаровується та не впливає на механізм синтезу олігоамідоєфіру. В даному випадку загальний час перебування матеріалу у сушильній камері звичайно збільшиться через необхідність поступового нагріву до температури 60 °С зі швидкістю не більше 5 °С за хвилину, водночас швидкість руху наповнювача в просочувальному обладнанні дещо знизиться.

Отже, для одержання фрикційного пресувального матеріалу застосовують стандартне просочувальне обладнання:

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- просочувальна ванна з обігрівом до температури 55 ± 5 °С;
- сушильна камера висотою 4 м, з однією зоною нагріву до 60 °С, забезпечуючи три проходи матеріалу та забезпечена інфрачервоними нагрівачами;
- швидкість руху пресувального матеріалу – 1,2 м/хв;
- шляхові ролики – стандартні.

3.2 Технологічна блок-схема отримання матеріалу на основі АПІ-3

Технологічна блок-схема представлена на рисунку 3.1.

Вихідні матеріали мають зберігатися у складських приміщеннях, умови зберігання наступні:

- температура повітря 18–20 °С;
- відносна вологість не вище 60 %;
- не допускається порушення цілісності упаковки матеріалів.



Рисунок 3.1–Технологічна блок-схема отримання фрикційного пресматеріалу

3.2.1 Контроль якості сполучного

Контроль якості сполучного виконується на відповідність паспортним даним,

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

тобто вимогам технічних умов. Проводять контроль зв'язувального матеріалу за допомогою ареометра та віскозиметра.

Параметри, які підлягають контролю при перевірці:

– густина при температурі 20 °С – 1,189 г/м³, при 60 °С – 1,163 г/м³;

– вязкість при температурі формування 300 °С – 10⁶-10⁷ Па·с.

Термін зберігання сполучного матеріалу не повинен перевищувати 4 місяці.

3.2.2 Контроль якості наповнювача

З ціллю перевірки якості наповнювача – базальтової нитки від кожної партії відбирають пробу з якої котушки та контролюють її на обрив волокна, перевіряють відсутність механічних пошкоджень, а також визначають товщину та ширину матеріалу. У разі незадовільних результатів виконують повторний контроль, результати якого поширюються на всю партію.

3.2.3 Отримання фрикційного прес-матеріалу

Одержання фрикційного пресувального матеріалу можливе при просочуванні з наступним підсушуванням базальтового наповнювача у вигляді нитки РКБ-600 зі сполучною АПІ-3. Виконання просочення РКБ-600 можливе на просочувальній машині УПСТ-300. Швидкість максимальна просочення становить 1,2 м/хв, а продуктивність – 20 кг за годину. Ця машина має зонну сушильну камеру, а просочувальна камера має можливість підігрівати зв'язувальне для зниження вязкості.

Перед запуском обладнання слід перевірити справність усіх вузлів та механізмів, протягнути наповнювач по протяжному траку, встановити натяг 3±0,2 Н, задати необхідну температуру у сушильній камері та налаштувати швидкість протягання нитки.

Режими просочення та сушки визначаються з умови необхідної витримки препрега під час сушіння на протязі 20 хвилин при температурі 60 °С. Для

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

просочення базальтової нитки РКБ-600 рекомендована температура сушки 60 °С, а швидкість руху базальтового наповнювача – 1,2 м/хв.

Рівень сполучного у ванні необхідно підтримувати на 20–25 мм вище лакувальних валків. Один раз на три години необхідно здійснювати контроль в'язкості зв'язувального у ванні і у випадку підвищення в'язкості додавати ацетон у ванну просочувальної машини. Препрег, на виході із сушильної камери, подається на автоматичні ножиці. Ножиці ріжуть матеріал на задані відрізки, які зсипають у пакувальну тару.

Контроль якості пресувального матеріалу полягає у контролюванні таких параметрів: пресувальний матеріал не повинен бути липким, мусить містити зв'язуючого 30±3 %, розмір гранул має бути 15–20 мм.

Липкість пресувального матеріалу визначають відшаровуванням целофанової плівки, що повинно проходити без прилипання, яке характерне для липкого розшаровування.

На відсутність непросочених ділянок та одностороннього просочення пресувальний матеріал контролюється візуально.

Зважуванням визначають вміст сполучного, за різницею мас відміряного відрізка препрегу та сухої вуглецевої стрічки.

Вміст сполучного можна отримати за формулою:

$$C = \frac{M_{II} - M_H}{M_H} \cdot 100\% \quad (3.15)$$

де: C – вміст сполучного, % мас;

M_{II} – маса препрегу після сушіння, г;

M_H – маса непросоченого наповнювача, г.

Зберігання пресувального матеріалу може здійснюватися на протязі 12 місяців, обов'язково герметично упакованого у плівковий мішок при температурі вище 20 °С та відносній вологості 50–60 %.

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ФРИКЦІЙНИХ ГАЛЬМІВНИХ КОЛОДОК

4.1 Обґрунтування вибору методу

Умовно процес виготовлення заготовок можна поділити на наступні стадії:

- виготовлення полотна для армування композиції, що полягає в отриманні волокна, а з нього пряді у вигляді джгута чи полотна, апретування;
- просочення армувального полотна олігомером або його розчином;
- сушка просоченої арматури;
- набір пакету;
- формування виробу;
- виконання затверднення зв'язувального.

Одержання заготовок, або виготовлення препрегів можливе за мокрим або сухим методом.

Просочення виконується методом протягуванням волокна чи тканини через ванну з олігомером необхідної концентрації, при цьому можливе змащення олігомером профілю форми. Далі, в залежності від способу формування, може виконуватись сушіння методом протягування волокон через тунельну піч. Пакет волокон набирають необхідної товщини заготовки, складаючи просочену тканину в шари, або досягаючи товщини стінки.

Основні способи формування заготовок відомі такі: контактний, метод пресування пружним пуансоном, вакуум-формування з еластичною діафрагмою, формування намотуванням, формування з дискретного волокна та інші.

4.2 Розробка технології пресування

Вибір способу формування заготовки з полімерного матеріалу визначається конфігурацією та розмірами заготовки, технічними вимогами до нього, типом та

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

основними властивостями вихідного матеріалу, можливостями наявного обладнання, а також технічним оснащенням потоку і економічною доцільністю даного виробництва.

Виготовлення гальмівних колодок для гальмівних систем автомобілів відносять до категорії виробництв великої серії, так як необхідність у їх виробництві висока у масштабах галузі та держави. План виготовлення виробів цього типорозміру 150000 штук і містить такі вимоги:

– заготовка повинна мати конфігурацію пластини розмірами 125×40 мм та товщиною 6 мм;

– матеріал заготовки ізотропний, матриця армована волокнами;

– як армувальні наповнювачі використовується базальтове волокно;

– напівфабрикат являє собою фрикційний пресувальний матеріал;

– формоутворення та термічна обробка заготовки проходить за одну стадію виробничого процесу;

– підвищені вимоги до якості матеріалу, так як виріб досить відповідальний.

Ущільнення пакету та етап фіксації форми повинен проходити в оснащенні. Оскільки, температура формування, а це – 300 °С, вимагає спеціальних марок сталі, то до матеріалу оснащення висувуються особливі вимоги по конструкції оформлювальної порожнини оснащення, так як розташування гальмівної накладки виконується на поверхні металевої пластини гальмівної колодки. В даному випадку рекомендується принцип напівзнімних форм. Роз'єм по формі повинен відповідати площині вставного елемента. Також потрібно, щоб в процесі формування тиск був рівномірним по всій поверхні заготовки.

В даному випадку, величина тиску формування залежить від властивостей армуючого наповнювача. Враховуючи вимоги до рівномірного розподілу тиску по площі заготовки та обмежень міцності та текстури наповнювача, можливі для етапу ущільнення та фіксації форми такі способи, як формування з еластичною діафрагмою, формування з використанням пружного пуансону, формування намотуванням.

У технологічному процесі вакуум-формування з еластичною діафрагмою

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виділяють дві стадії:

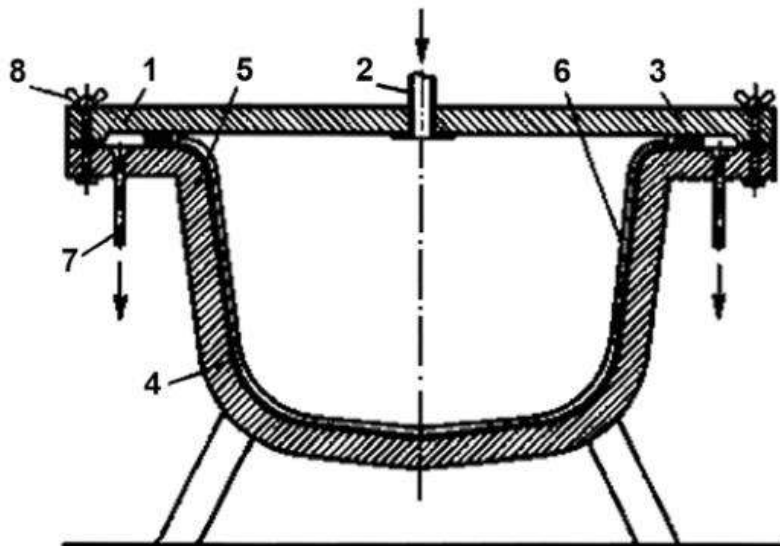
а) набір пакету контактним методом;

б) під еластичною діафрагмою утворення розрідження, внаслідок цього відбувається обтискання по поверхні композиції з одночасним притисканням її до поверхні форми.

Композиція отримує більш ущільнені форми виробу (рисунок 4.1).

З метою підвищення щільності розташування шарів в композиції над діафрагмою, в залежності від умов затвердіння, створюється тиск повітрям чи паром.

За цим способом формування одержують більш міцний виріб з гладкими поверхнями. Величина товщини набраного пакету задається з врахуванням ущільнення під тиском.



1 – притискна рама; 2 – штуцер; 3 – ущільнювальна прокладка; 4 – виріб;
5 – форма; 6 – еластична діафрагма; 7 – вентиляційний канал; 8 – затискач

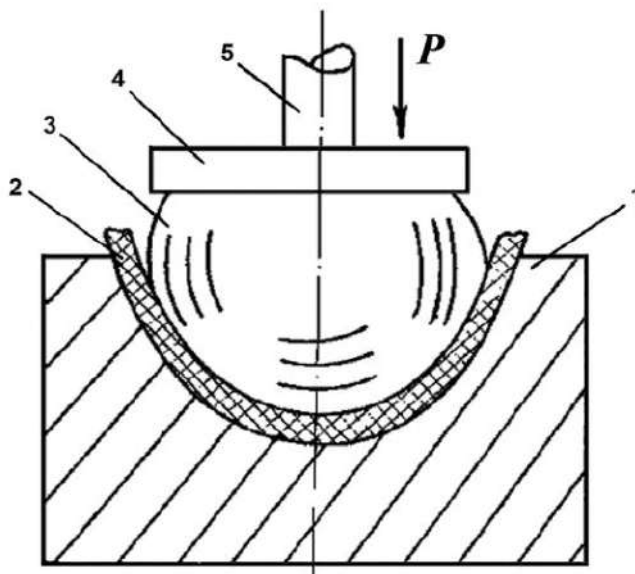
Рисунок 4.1 – Формування з еластичною діафрагмою

У способі пресування пружним пуансоном для пресування застосовують заготовку необхідної форми та набраний пакет просоченої тканини необхідної товщини, але більшої, звичайно, ніж товщина виробу, враховуючи ущільнення (рисунок 4.2).

Дане пресування виконується у металевій формі на гідравлічному або

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

пневматичному пресі, застосовуючи при цьому гумовий пуансон. Тиск пресування фіксується у межах 0,2–1,5 МПа.



1 – матриця; 2 – заготовка з просоченої зв'язної тканини;
3 – пуансон; 4 – верхня плита; 5 – плунжер

Рисунок 4.2 – Схема формування з використанням пружного пуансона

При такому способі одержують вироби з підвищеною міцністю: у 10–20 разів вищою у порівнянні з контактним формуванням.

Спосіб формування намотуванням заключається у використанні спеціального шаблону з сердечником. Одержують армовані вироби обертанням шаблону – сердечником, який при обертанні формує внутрішню поверхню виробу. Також застосовують намотувальний пристрій, який забезпечує необхідну схему армування та дозволяє отримати максимальну міцність виробу в потрібних напрямках.

Відомі два види способу формування намотуванням: мокрий та сухий.

Суть мокрого способу полягає в наступному: волокно чи тканина намотується на шаблон, який точно повторює форму потрібного виробу, а потім виконується просочування отриманої арматурної заготовки зв'язувальним. Здійснюється просочування зв'язувальним методом втискання під тиском у заготовку з наступною опресовкою у формі або у ванні. Опресовка може

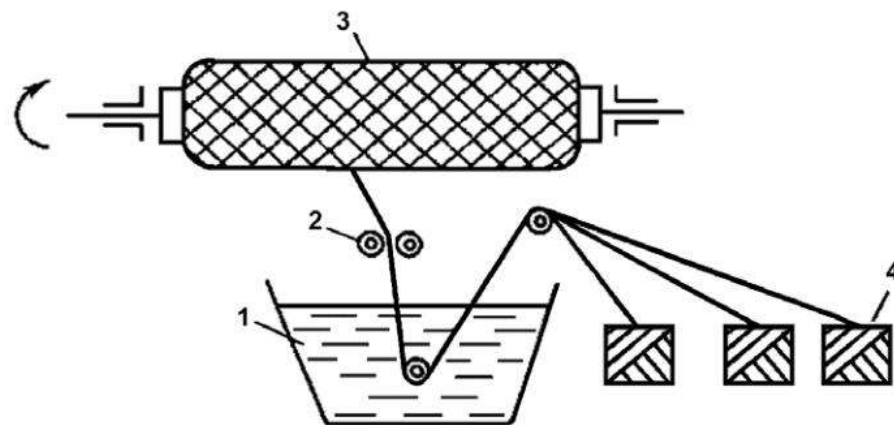
					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

виконуватись ззовні під дією відцентрової сили при ротаційному формуванні, а також зсередини за допомогою розрідження. Використання спеціальних форм при опресуванні ззовні дає можливість отримати високоміцні і великогабаритні вироби точних геометричних розмірів та незначної механічної обробки заготовки.

Мокрий метод має такі недоліки: забрудненість висока і відповідно шкідливість процесу; використання смоли в'язкістю з вузьким діапазоном.

Суть сухого способу полягає в тому, що намотане волокно чи тканина просочують зв'язувальним, перед намоткою на шаблон, а далі виконують затверднення (рисунок 4.3). Такий метод передбачає достатньо високу культуру виробництва, використання зв'язувальних з різними технологічними властивостями, а також можливість застосування неперервного процесу формування. Сама відповідальна операція цього процесу є намотка на оправку, так як під час намотки формується майбутній матеріал і його механічні та фізичні властивості.

Розрізняють різні види намотування, при укладанні волокон на оправку: обвідне, спіральне, поздовжньо-поперечне та планетарне.



1 – ванна зі зв'язувальним; 2 – віджимні валики; 3 – оправка; 4 – скляний джгут

Рисунок 4.3 – Схема виготовлення виробів методом намотування

Після процесу намотування та одержання потрібних геометричних розмірів виробу, отриману заготовку подають на стадію затверднення. В сучасних технологічних виробництвах заготовки виготовляють із композитів, в основі яких

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

подрібнене волокно та олігомерне, реакційноздатне зв'язувальне.

Змішують зв'язувальне та подрібнене волокно у дозаторах, після чого цю композицію заливають у форму.

4.3 Пряме пресування

Пряме пресування здійснюється пресовому обладнанні, яке є досить складним. У нашій країні відомий парк досить різноманітного пресового обладнання, це і прості преси, і автоматизовані пресові лінії, і цілі пресові виробництва. Так як заготовка, яка формується, має форму пластини, то тиск при прямому пресування буде рівномірно розподілений по поверхні. Це підтверджує, що найраціональнішим методом формування виробу буде метод прямого пресування.

Отже, для отримання фрикційних накладок обрано метод прямого пресування.

Контактний метод формування – це спосіб, при якому поєднується стадія просочування та формування у формі (рисунок 4.4). Метод полягає в наступному: на змащену воском чи іншим антиадгезивом поверхню форми наносять шар олігомеру із затвердником та іншими необхідними технологічними домішками, далі накладають композит та притискають його до поверхні форми. Притискання для ущільнення можливе вручну або механічно. При досягненні потрібної товщини заготовки здійснюють затверднення у формі при нагріванні чи на повітрі без нагріву. Застосований режим залежить від природи зв'язувального та ствердника. При набранні товщина шару враховують зсідання зв'язувального.

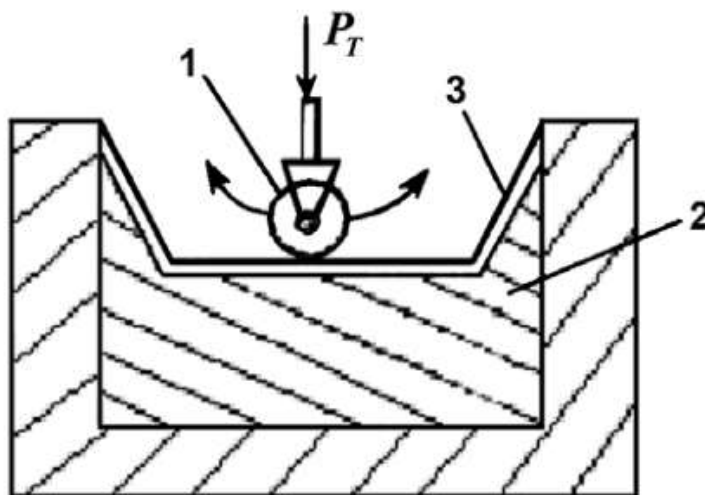
Переваги контактного методу наступні:

- простота формування композиту та здешевлення;
- простота форми та доступна ціна її, форма може бути виготовлена з металевого листа, гіпсу або дерева;
- можливість утворення великогабаритних тонкостінних виробів.

Серед недоліків контактного методу можна назвати такі:

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

- низькі механічні та фізичні властивості композиту із-за низького тиску ущільнення, у випадку притискається вручну;
- неоднорідність пластику;
- гладка поверхня заготовки лише зі сторони форми.



1 – валик для ущільнення; 2 – форма; 3 – формувальний шар композиту

Рисунок 4.4 – Схема контактного формування

4.3.1 Технологічна схема пресування фрикційної накладки

Технологічна схема пресування фрикційної накладки гальмівної колодки зображена на рисунку 4.5

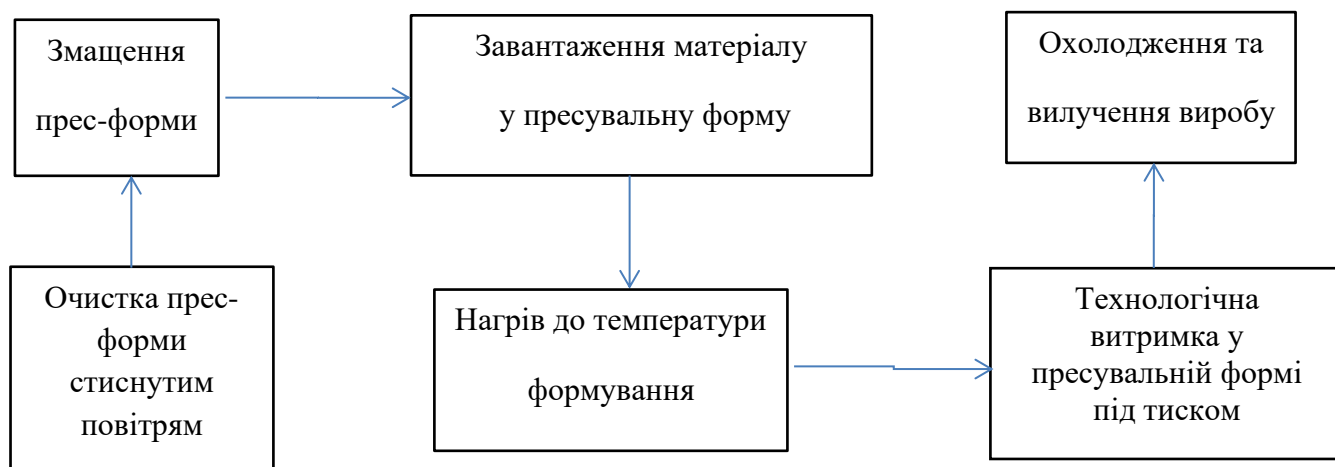


Рисунок 4.5 – Технологічна схема пресування фрикційної накладки

Для того, щоб розрахувати термін рівномірного нагріву пресувального матеріалу по об'єму, необхідно використовувати основні характеристики

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

температуропровідності композитів, а саме такі: габаритні розміри та форму заготовки, температуру композиту і температуру пресувальної форми.

Коли пресувальний матеріал за температури T_a у формі заготовки з розмірами, які є такими ж як внутрішні розміри форми, засипається у форму, що нагріта до температури T_0 , то час нагрівання частини заготовки зсередини до заданої температури T_m можна розрахувати за формулою (4.1), яку використовують для плоскопаралельної нескінченної пластини.

Час нагріву пресувального матеріалу до необхідних заданих температур розраховується за формулою нестационарної теплопровідності:

$$\tau_{пл} = \frac{4}{\pi^2} \cdot \left(\frac{S}{2}\right)^2 \cdot \frac{1}{a_T} \cdot \ln\left(\frac{4}{\pi} \cdot \frac{\theta_a}{\theta_m}\right) \quad (4.1)$$

де $\tau_{пл}$ – час прогрівання середини заготовки, год;

S – товщина пластини, м;

a_T – коефіцієнт температуропровідності, м²/год.

Різниці температур визначаються за формулами:

$$\theta_a = T_0 - T_a; \theta_m = T_0 - T_m. \quad (4.2)$$

Для вибраних параметрів: $a_T = 1,78 \cdot 10^{-4}$ м²/год, $T_0 = 300$ °С, $T_a = 200$ °С та $T_m = 295$ °С було розраховано тривалість прогрівання. Представлені вибрані параметри відповідають умовам формування фрикційного матеріалу.

При отриманні пластин термін нагріву може бути знижений в зв'язку з впливом тиску на заготовку під час нагрівання. У випадку, коли при прикладанні тиску, температура вища температури склування композиційного матеріалу, пресувальний матеріал зразу ж стає монолітним із збільшенням коефіцієнту температуропровідності та зменшенням товщини заготовки.

Розрахункові величини тривалості прогрівання при пресуванні заготовки з фрикційного матеріалу приведені у таблиці 4.1.

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 – Розрахункові значення тривалості прогрівання при пресуванні пластини фрикційного матеріалу

Товщина пластини, мм	6,0	10,0	20,0	25,0	30,0	40,0	50,0
Тривалість прогрівання пластини, хв.	3,96	11,04	44,1	69,18	99,6	177,12	276,66

При пресуванні заготовок тривалість прогрівання може бути достатньо знижена в результаті впливу тиску на пресувальний матеріал у процесі нагріву. До речі, якщо у момент прикладання тиску, температура буде перевищувати температуру склування полімеру, то такий пресувальний матеріал монолітизується із зменшенням товщини. Окрім того, для монолітного пресувального матеріалу підвищується коефіцієнт теплопровідності.

Заготовки, одержані пресуванням, частіше всього мають близькі розміри у різних напрямках. Також, слід відмітити, теплообмін при цьому характерний всій зовнішній поверхні пресувального матеріалу та сприяє більш швидкому прогріванню у порівнянні з пластиною, яка має нескінченні розміри.

Як було встановлено, термін нагрівання зменшується тоді, коли композиційний матеріал розміщується у формі при низькій температурі та одночасно з формою нагрівається. При нагріві пресувальної форми з постійною швидкістю різниця температур у центрі заготовки і на його поверхні розраховується для пластини за формулою:

$$\Delta t = \frac{\omega \delta^2}{8a_T} \quad (4.3)$$

де Δt – різниця температур, °С; ω – швидкість нагрівання форми, °С/год; δ – товщина пластини, м; a_T – коефіцієнт теплопровідності, м²/год.

Величина розрахунку вказує, що зміна температур для швидкостей нагріву 5–10 °С за хвилину у кілька разів менша, порівнюючи із зміною у тому разі, коли заготовку розміщують в пресувальній формі, котра нагріта до максимальної

температури.

Також потрібно взяти до уваги, що при нагріванні одночасному пресувальній форми і композиційного матеріалу до температури пресування, лише по центру заготовки температура відрізняється на величину, яка підраховується за формулою 4.1 від температури інших більш нагрітих шарів матеріалу. Отже, в даному випадку буде значним і вираш у часі.

Було проведено дослідження взаємозв'язку між показниками міцності виробів і тиском з метою визначення оптимального значення тиску пресування P_{np} . Однак, надмірно високий тиск під час пресування може спричинити зростання внутрішніх напружень у виготовлених зразках.

Висока в'язкість розплаву ароматичних поліімідів перешкоджає релаксації внутрішніх напружень, величина яких зростає зі збільшенням тиску пресування.

Тому, при пресуванні заготовок простої форми невеликих розмірів висотою до 15 мм, тиск P_{np} має відповідати 10 МПа. Під час пресування ароматичних поліімідів температура, при якій застосовується тиск, визначається сукупністю факторів. Одним із них є потреба в додатковому підсушуванні композиційного матеріалу, що нагрівається у пресувальній формі.

В даному випадку, щоб полегшити видалення вологи з полімеру, його нагрівають до температури пресування T_{np} без застосування тиску. Це також сприяє усуненню летких продуктів часткового розпаду полімеру.

Одночасно застосування тиску при температурі, нижчій за T_{np} , покращує теплопередачу від стінок форми. Після досягнення температури розм'якшення це сприяє зменшенню товщини зразка, що, у свою чергу, прискорює його прогрів. Вибір температури, при якій прикладається тиск до заготовки, в основному залежить від виду виробу та умов переробки.

Час витримки під тиском залежить від потреби в повному прогріванні композиційного матеріалу та тривалості процесу формування виробу.

Полімерний композит у вигляді заготовки перед вийняттям з пресувальній форми потрібно охолодити до температури, яка буде нижчою температури склування T_c . Проте, інколи тиск можна знизити і при більш високих температурах,

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

такий режим охолодження буде сприяти релаксації і зниженню внутрішніх напружень у заготовці. Також, якщо тиск знімати за температури, вищої температури склування, міцність виробу та точність геометричних розмірів знижується. Саме тому, при підвищених вимогах до виробів, охолодження при переробці композиту має проходити під тиском та при зниженні температури повільно до 100 °С.

Для скорочення тривалості циклу пресування доцільно підвищити швидкість охолодження пресувальної форми з готовим виробом. Температуру стінок пресувальної форми знижують за допомогою водяного охолодження зі швидкістю приблизно 1,5 °С/с.

Обов'язково враховують при охолодженні, що великі вироби у середній центральній частині охолоджуються повільніше. Потрібно врахувати і те, що прискорене охолодження заготовок приводить до суттєвих внутрішніх напружень та зсідання виробу.

Вибір режиму формування заготовки виконують методом аналізу даних за в'язкопружними та термомеханічними властивостями імідопластиків на основі АПІ-3, кінетикою газовиділення та кінетикою ущільнення пакету заготовок, при одержанні виробу високої якості [10].

Режим пресування включає:

- завантаження пресувального матеріалу у прес-форму за температури 20 °С;
- встановлення прес-форми під прес при температурі 300 °С;
- прогрівання прес-форми та підвищення тиску до 10 МПа за 4 хвилини;
- видержування при температурі 300 °С на протязі 30 хвилин;
- вийняття прес-форми та повільне охолодження.

Після охолодження до температури 100 °С пресувальну форму відкривають та виймають виріб.

Прес вибирається згідно номінального зусилля $N_{ном}$.

Обов'язковою умовою повинно бути:

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{ном} \gg N_{потр} \quad (4.4)$$

$$N_{потр} = S \cdot P_{форм} \quad (4.5)$$

де $N_{потр}$ – споживана потужність;

S – площа виробу, $355 \text{ см}^2 = 355 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$;

$P_{форм}$ – тиск формування, 10 МПа;

$$N_{потр} = 355 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 10 \text{ МПа} = 0,355 \text{ Мн} = 3,55 \text{ тс}$$

При роботі пресу необхідно враховувати можливі втрати, тому потрібно мати деякий запас потужності. Запас потужності враховує коефіцієнт втрат тиску при пресуванні (K).

Використовуючи коефіцієнт K , ефективна потужність підраховується за формулою :

$$N_{еф} = K \cdot N_{потр} \quad (4.6)$$

Коефіцієнт вибираємо за рекомендаціями науковців [10] в інтервалі 1,1–1,15. Враховуючи те, що пресується лише одна заготовка, за невисокого зусилля формування, буде достатньо застосувати $K = 1,1$. В даному випадку, ефективна потужність пресування:

$$N_{еф} = 1,1 \cdot 3,55 \text{ тс} = 3,91 \text{ тс}.$$

З довідника вибираємо прес, який дозволяє забезпечити потрібне зусилля пресування. Врахувавши габаритні розміри, вибираємо гідравлічний прес ДБ-2424. Технічна характеристика преса ДБ-2424 наведена у таблиці 4.2.

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Технічна характеристика преса ДБ-2424

Найменування характеристики	Параметр
Номінальне навантаження	25 тс
Хід повзунка	450 мм
Найбільша відстань між столом та повзунком	710 мм
Розміри стола:	
довжина	560 мм
ширина	500 мм
Швидкість повзунка:	
холостий хід	200 мм/с
робочий хід	5 мм/с
зворотній хід	100 мм/с

4.3.2 Розрахунок часу технологічної операції пресування

Час технологічної операції підраховується за наступною формулою:

$$\tau_{ш.к} = \tau_{осн} + \tau_{доп} + \tau_{обсл} + \tau_{ос.пом} + \tau_{п.зав}; \quad (4.7)$$

$$T_{ш.кул.} = t_{осн.} + t_{вс.} + t_{обсл.} + t_{л.н.} + t_{зак.},$$

де $\tau_{ш.к}$ –штучно-кулькуляційний час певної операції;

$\tau_{осн}$ – основний час технологічної операції, 20 хвилин;

$\tau_{доп}$ – допоміжний час технологічної операції, 6 хвилин;

$\tau_{обсл}$ – час, який затрачується на обслуговування, 2 хвилини;

$\tau_{ос.пом}$ – час на потреби обслуговуючого персоналу, 1 хвилина;

$\tau_{п.зав}$ – підготовчо-завершальний час, 2 хвилини.

Підраховуємо час технологічної операції, у годинах:

$$\tau_{ш.к} = 0,3 + 0,1 + 0,03 + 0,01 + 0,03 = 0,47$$

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Аналіз технічних вимог та конструкції гальмівної колодки для автомобіля показав, що деталь характеризується простою конфігурацією та порівняно невеликими розмірами. Особливі вимоги висуваються до матеріалу виробу, який повинен забезпечувати високий та постійний коефіцієнт тертя в області робочих температур до 300 °С.

2. В результаті аналізу технічних наукових джерел, розкрито доцільність та ефективність застосування для виготовлення такого типу деталей з полімерних термостійких композиційних матеріалів на основі імідних сітчастих матриць, що забезпечують потрібну величину робочих температур при високих механічних показниках.

3. Виконано обґрунтований вибір складу композиційного матеріалу для виготовлення виробу, в результаті якого найбільш доцільним можна вважати полімерний матеріал на основі імідної матриці АПІ-3 та в якості основного армуючого наповнювача базальтові нитки РКБ-600.

4. Розроблено модель та розглянуто технологічні особливості одержання фрикційного пресувального матеріалу методом занурення. Також розроблено технологію виготовлення фрикційного пресувального матеріалу, який придатний для пресування заготовки методом прямого пресування. Обґрунтовано вибір методу формування заготовки та представлено його технологію. Висвітлено особливі вимоги до формувального обладнання.

5. Розроблено технологію виготовлення гальмівної колодки для дискових гальм автомобіля з термостійкого полімерного матеріалу на основі зв'язувального АПІ-3 та основного армуючого наповнювача базальтової нитки РКБ-600.

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 2919-94. Автотранспортні засоби. Гальмівні системи. Терміни та визначення. – Введено вперше; Введ. 01.01.96. — Київ : Держстандарт України, 1995. — 19 с.
2. Сіренко Г. О. Теплофізичні властивості полімерних композитів : монографія [за ред. Г. О. Сіренка] / Г. О. Сіренко, В. П. Свідерський. – Івано-Франківськ: вид. Супрун В. П., 2016. – 292 с.
3. Smith J., Johnson K. "Performance analysis of polymer-based brake pad materials under extreme conditions". — International Journal of Automotive Engineering, 2020, Vol. 15(4), pp. 245-256.
4. "Innovations in Brake Pad Design", Proceedings of the 12th International Conference on Automotive Materials, Munich, 2021.
5. Композиційні матеріали на основі базальтових волокон: Збірник наукових праць – Київ.: ПІМ, 1989. – 164 с.
6. ISO 26865:2020 "Road vehicles — Brake lining friction materials — Laboratory test methods".
7. ДСТУ 8418:2015 "Матеріали для гальмівних колодок. Технічні умови".
8. Офіційний сайт Європейської асоціації гальмівних матеріалів (<https://www.eca-brakes.org/>).
9. Портал Automotive World (<https://www.automotiveworld.com/>) — публікації з новітніх технологій у гальмівних системах.
10. Патент US 10456789 B2: "Composite polymer brake pad with enhanced thermal resistance".

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					КРБМТВАТАМ 25.22153.000. ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		