

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

бакалавра

Освітньо-кваліфікаційний рівень

Галузь знань **13 Механічна інженерія**

Шифр і назва галузі знань

Напрямок підготовки (спеціальність): **132 «Матеріалознавство.
Відновлення та технічний сервіс автомобілів»**

Шифр і назва напрямку підготовки (спеціальності)

на тему: «Вдосконалення технології виготовлення антифрикційних
карбопластиків для деталей вузлів тертя автомобілів»

Шифр **ДРМТВАТАМ 24.20206.000 ПЗ**

Виконав: студент 4-го курсу,
група МТВА-20-1


Підпис

Роман БУКШІЙ
Ім'я, прізвище

Керівник: *к.т.н., доц. каф ТАМ.*


Підпис

Владислав СВИДЕРСЬКИЙ
Ім'я, прізвище

До захисту допускаю:
зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.


Підпис

Олександр ДИХА
Ім'я, прізвище

10 06 2024 р.

Хмельницький, 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 132 «Матеріалознавство»

Спеціалізація: «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрою ТАМ
Диха О.В.
" 04 " березня 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Букшію Роману Володимировичу

1. Тема проєкту (роботи): «Вдосконалення технології виготовлення антифрикційних карбопластиків для деталей вузлів тертя автомобілів»

Керівник роботи: Свідерський Владислав петрович, к.т.н., доц. каф. ТАМ.

Затверджено наказом університету від 15 лютого 2024 р. № 8 (Д 16).

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) на кафедру: 20.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи): матеріали практики; робочі креслення елементів вузлів тертя автомобілів; нормативно – технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузлів тертя; вимоги з охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт.

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

1). Аналіз застосування ущільнювальних та антифрикційних матеріалів у вузлах тертя автомобілів.

2). Розробка технології змішування та подрібнення антифрикційних карбопластиків з метою підвищення їх продуктивності.

3). Дослідження впливу технології виготовлення і природи матриці на механічні характеристики і зносостійкість антифрикційних карбопластиків.

4). Аналіз технології фторвмісних композитів з підвищеними деформаційноміцнісними та триботехнічними характеристиками.

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

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

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання: 4 березня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Застосування ущільнювальних та антифрикційних матеріалів у вузлах тертя автомобілів.	15.04.2024	вик.
2	Розробка технології змішування та подрібнення антифрикційних карбопластиків з метою підвищення їх продуктивності.	25.04.2024	вик.
3	Дослідження впливу технології виготовлення і природи матриці на механічні характеристики та зносостійкість антифрикційних карбопластиків	15.05.2024	вик.
4	Аналіз технології фторвмісних композитів з підвищеними деформаційноміцнісними та триботехнічними характеристиками.	10.06.2024	вик.
5	Оформлення роботи	20.06.2024	вик.
6	Захист роботи	22.06.2024	

Студент



Роман БУКШІЙ

Керівник роботи



Владислав СВДЕРСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота студента групи МТВА-20-1 Букшія Романа Володимировича на тему: «Вдосконалення технології виготовлення антифрикційних карбопластиків для деталей вузлів тертя автомобілів».

Обсяг роботи: 55 с., 8 табл., 13 рис., 12 джерел зі списку літератури, 1 додаток.

Метою роботи є вдосконалення технології виготовлення матеріалів на основі фторопластів та вуглецевих волокон для деталей автомобільної техніки та дослідження впливу цієї технології на їх фізико-механічні характеристики і зносостійкість.

Об'єктом дослідження є технологія виготовлення антифрикційних фторопластових карбопластиків для вузлів тертя автомобільної техніки.

Проаналізовано застосування ущільнювальних та антифрикційних матеріалів у вузлах тертя автомобілів.

Для підвищення ефективності приготування вуглецевого волокна з тканини "Текарм", що входить до складу композиційного матеріалу, згорток тканини попередньо піддається руйнуванню шляхом пресування в прес-формі при тиску 50 МПа з наступним подрібненням в млинку. Застосування ж ступеневих рухомих ножів з нерухомо закріпленими ножами в камері помолу дозволило збільшити масу завантаження в три рази і скоротити термін приготування композиції у 8,4 разів. Результати виконаних досліджень показали, що застосування млинки "Ютон" з високою продуктивністю приготування композицій не приводить до суттєвої зміни зносостійкості антифрикційного карбопластика Ф4ВВ20. В результаті ж заміни матеріалу матриці композиції: фторопласт-4ПН на фторопласт-4ЕД, зносостійкість матеріалу Ф4ВВ20 збільшується в 1,8 разів. Застосування технології механоактивації дозволяє підвищити міцнісні характеристики високо наповнених композитів на 40–50 % у порівнянні з композитами, отриманими за традиційними технологіями.

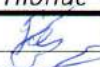


Встановлено, що поєднання різних технологій, наприклад, технологій механоактивації і всебічного стиснення, дозволяє додатково збільшити міцнісні характеристики композитів з невеликим наповненням (до 20 %) на 20–30 відсотків, що свідчить про активізацію процесів міжфазної взаємодії в композиційному матеріалі та збільшення ступеня монолітизації заготовок.

Графічна частина представлена у вигляді презентації.

Ключові слова: ТЕХНОЛОГІЯ, ВДОСКОНАЛЕННЯ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ, МІЦНІСТЬ, МЕХАНОАКТИВАЦІЯ, ВСЕБІЧНЕ СТИСНЕННЯ.

Зміст

Вступ.....	6
1 Ущільнювальні та антифрикційні матеріали на основі фторопластів в автомобільній техніці.....	7
1.1 Аналіз особливостей застосування антифрикційних матеріалів в автомобільній техніці.....	7
1.2 Формулювання завдання на вдосконалення технології виготовлення антифрикційних фторопластових карбопластиків	14
2 Вдосконалення технології виготовлення антифрикційних карбопластиків типу Ф4ВВ20.....	16
2.1 Аналіз технологій змішування та подрібнення антифрикційних карбопластиків з метою підвищення їх продуктивності.....	16
2.2 Вплив технології виготовлення і природи матриці на механічні характеристики та зносостійкість антифрикційних карбопластиків.....	25
3 Технологія фторвмісних композитів з підвищеними деформаційноміцнісними та триботехнічними характеристиками.....	33
3.1 Технологія спікання фторопластових композитів в умовах всебічного стиснення.....	33
3.2 Технологія міжфазної взаємодії компонентів матеріалу на основі ПТФЕ, модифікованого вуглецевими волокнами.....	44
3.3 Технологія додаткової механоактивації фторопластової композиції...	46
Висновки.....	52
Список використаних джерел.....	53
ДОДАТКИ.....	55

ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ				
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата
Виконав		Букшій Р. В.		10.06.24
Перевірів		Свідерський В.П.		10.06.24
Н.контр.		Бабак О.П.		10.06.24
Затвер.		Диха О.В.		10.06.24

Вдосконалення технології виготовлення антифрикційних карбопластиків для деталей вузлів тертя автомобілів		
Літера	Аркуш	Аркушів
н	5	55
ХНУ, група МТВА 20-1		

ВСТУП

Серед багатьох полімерів, які виробляються в хімічній промисловості, фторполімерні матеріали найбільше відповідають вимогам, що ставляться до матеріалів для експлуатації в автомобільній техніці. Ці полімери мають унікальний набір характеристик, таких як підвищена термостійкість та вогнестійкість, відмінні механічні, діелектричні, антиадгезійні та антифрикційні властивості, виняткова стійкість до хімічного впливу, а також здатність зберігати ці характеристики при широкому діапазоні робочих температур та тисків. Завдяки цим характеристикам, деталі та вироби з фторполімерних матеріалів відрізняються підвищеною надійністю в експлуатації, високою пожежною безпекою та значним терміном служби. Фторопласт-4, або політетрафторетилен, використовується в автомобільній техніці для виробництва деталей, які застосовують як ущільнювальні, так і антифрикційні компоненти, зокрема, у вузлах тертя, які працюють без змащення. Недоліком фторопласту-4 вважають його відносно низьку стійкість до зносу та підвищену повзучість при тривалому впливі навантаження, що обмежує ресурс роботи та розширення його можливого застосування. Один із способів підвищення зносостійкості та зменшення повзучості фторопласту-4 полягає у синтезі композицій, що ґрунтуються на цьому матеріалі з включенням волокон та порошків різного складу і кількості. Антифрикційні та фізико-механічні властивості фторопластових композиційних матеріалів можна поліпшити, вдосконалюючи технології їх виготовлення. Для досягнення цього застосовується технологія спікання фторопластових виробів в умовах всебічного стиснення. З ціллю зниження пористості композиту та підвищення процесу монолітизації при спіканні, рекомендується проводити ущільнення приготування композиції методом пропускання її між двома валиками, що обертаються. Одержаний активований композиційний матеріал подається для подрібнення та розпушування у спеціальний швидкохідний змішувач. Метод механічного активування (МА) компонентів є важливою задачею по підвищенню продуктивності виготовлення композицій фторполімерних матеріалів.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 УЩІЛЬНЮВАЛЬНІ ТА АНТИФРИКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ФТОРОПЛАСТІВ В АВТОМОБІЛЬНІЙ ТЕХНІЦІ

1.1 Аналіз особливостей застосування антифрикційних фторопластових матеріалів в автомобільній техніці

Антифрикційні та ущільнювальні деталі і вузли в автомобільній промисловості створюють методом механічної обробки втулок, пластин, стрижнів, отриманих методом холодного пресування порошку фторопласту-4 та композицій на його основі з подальшим спіканням при температурі 370 °С. Фторполімерні композиційні матеріали, такі як Ф4ВВ20, Ф4К20, Ф4КС2, Ф4С15, Ф4К15УВ5, є ефективними матеріалами для ущільнюючих та антифрикційних деталей в системах гідравліки, пневматики та паливної автомобільної техніки (таблиця 1.1) [1].

Таблиця 1.1 – Властивості фторопласту-4 та композицій на його основі

Показник	Марка матеріалу					
	Ф-4	Ф4КС2	Ф4С15	Ф4К20	Ф4К15ВВ5	Ф4ВВ20
Густина, кг/м ³	2180	2170	2190	2100	2000	2100
Відносне подовження при розриві, %	350	300	200	120	150	220
Міцність при розтягуванні, МПа	25	24	15	13	17,5	26
Модуль пружності при розтягуванні, МПа	350	400	480	630	700	750
Напруга стиснення при деформації ції 10%, МПа	15	16,5	20	22	28	30
Твердість по Брінеллю, МПа	35	40	45	50	50	55

Фторопластовий композиційний матеріал Ф4КС2, який містить 2 мас. % кобальту синього, застосовується для створення рухомих ущільнень в ущільнювальних пристроях гідроагрегатів автомобілів. Цей матеріал не викликає зносу хромованих поверхонь штоків та циліндрів агрегатів.

Фторопластовий композит Ф4С15, який містить 15 мас.% скловолонна як модифікатор, використовується для виробництва ущільнювальних манжет комбінованих ущільнювачів паливних насосів, які застосовують у вузлах автомобільної техніки.

Фторопласт Ф4К20, з наповненням 20 мас. % ливарного коксу КЛ-1 та Ф4К15УВ5, з наповненням 15 мас. % ливарного коксу КЛ-1 і 5 мас. % вуглецевого волокна є матеріал для деталей антифрикційних, що працюють без змащення при високих швидкостях ковзання та незначних питомих навантаженнях 0,1–1 МПа. При дослідженні в умовах зворотньо-поступального руху, деталі з цих матеріалів зі швидкістю 5–80 мм/с та навантаженні 0,1 МПа видержують 6 млн. циклів до повного зношення. Аналогічні деталі з фторопласту Ф-4, за даних умов, видержують лише 300 тис. циклів, тобто ресурс роботи значно менший.

Фторопластовий композиційний матеріал Ф-40ЛД – це сополімер тетрафторетилену та етилену (таблиця 1.2) [2]. Він зберігає численні позитивні властивості фторопласту-4, такі як хімічна стійкість у різних автомобільних середовищах, а також негорючість та атмосферостійкість. Однак, на відміну від фторопласту Ф-4, при підвищенні температури за межу температури плавлення кристалічної фази (260°C), він переходить у в'язкоплинний стан. Це надає можливість обробляти його литтям під тиском та виготовляти деталі складної форми. Фторопласт-40ЛД рекомендовано застосовувати при литті під тиском деталей електроізоляційного та конструкційного призначення, які працюють в інтервалі температур від –60 °С до +150 °С на повітрі в автомобільних паливних системах, оліях та рідинах для гідросистем. Його використовують також, замість фторопласту-4, в автомобільній техніці при виготовленні литтям та під тиском деталей паливо-вимірювальної апаратури, таких як кронштейни, хомути. Це дозволяє кількісно

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

збільшити використання матеріалів та суттєво знизити трудомісткість виготовлення деталей (від 5 до 10 разів).

Таблиця 1.2 – Властивості фторопласту Ф-40ЛД та поліімідофторопласту ПМФ-Л

Показник	Марка матеріалу	
	Ф-40ЛД	ПМФ-Л
Густина, кг/м ³	1650	1620
Міцність при ротягуванні, МПа	36	110
Відносне подовження при розриві, %	20	60
Напруга стиснення при деформації ції 10%, МПа	23	70
Модуль пружності при згині, МПа	1100	1400
Твердість по Брінеллю, МПа	58	54
Вдопоглинання за 24 години, %	0,01	0,2
Максимальна робоча температура, °С	150	150
Деформація при стисненні за 24 години, % , при навантаженні: 14 МПа 28 МПа	5,7 16	1,8 4,1

Матеріал ПМФ-Л – це багатошаровий продукт, який складається зі зварених між собою поліімідних плівок, що мають одно- та двостороннє покриття фторопластом марок ПМФ-351 та ПМФ-352. Висока міцність та опір повзучості забезпечуються поліімідними плівками ПМ, тоді як еластичність та міжшарова адгезія досягаються за рахунок фторопластових шарів Ф-4МБ, що є сополімером тетрафторетилену з гексафторпропіленом. Поліімідфторопласт ПМФ-Л виробляється шляхом пресування за температури 345 ± 10 °С і тиску $1,4 \pm 0,15$ МПа.

Даний композит випускається у вигляді пластин, розміри яких 108×134 мм товщиною до 3 мм. Поліімідфторопласт володіє високими механічними властивостями, а саме такими: випробування на розтяг, вигин та стиснення. Цими характеристиками він переважає усі модифіковані матеріали на основі фторопласту Ф-4. Широке застосування цей матеріал здобув як ущільнювальні елементи пневмоклапанів високого тиску, так як підвищує надійність та термін роботи виробів у 3–5 разів, порівнюючи аналогічно з гумами та фторопластом-4. Властивості фторопласту-40ЛД та поліімідфторопласту ПМФ-Л наведені в таблиці 1.2.

Матеріал флюоросинт, який представляє собою композицію фторлона із слюдою, володіє високими антифрикційними властивостями [2]. Вироблені з цього матеріалу деталі відзначаються низькою здатністю поглинати вологу та високою стабільністю розмірів. Матеріал ефективно працює при високій температурі, хоча вимагає порівняно низьких тисків.

В системах тертя автомобільної техніки використовують каркасні стрічкові самозмащувальні матеріали [3]. Ці матеріали складаються з металевої основи, на якій надійно закріплений бронзовий порошок спеціального призначення. Проміжки між гранулами порошку та його поверхня покриті фторопластом, що містить бентоніт. Порошок бронзи, що закріплений на жорсткій основі, виконує функцію каркасу, який гарантує відсутність корозії, розширення та деформацій робочої поверхні під час тривалої експлуатації. Міцна плівка фторопласта, яка заповнює проміжки, полегшує пристосування спряжених поверхонь. Важливо відзначити, що коефіцієнт лінійного розширення фторопласта відомо значно перевищує аналогічний показник для бронзи.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, при збільшенні температури контактуючих поверхонь під час тертя відбувається розширення фторопласту, який виходить з пор і збільшує товщину полімерної плівки. Це призводить до поліпшення умов змащування та зменшення теплової напруженості в контакті.

випадку недостатньої подачі фторопласта в зону тертя, гранули бронзового порошку можуть виділяти легкоплавку складову, яка інтенсивно поглинає тепло при розплавленні. Це забезпечує додаткове змащування в зоні тертя.

Передові зарубіжні фірми випускають подібні матеріали таких марок: DP, DU, DQ [4]. Матеріал DP містить сталеву основу, на яку нанесений тонкий шар бронзи, склад якої 89% міді та 11% олова. Цей шар спечений методом порошкової металургії та розташований у порах фторопласта. Матеріал DU відрізняється від матеріалу DP тим, що пори наповнені сумішшю фторопласту з 20% за об'ємом свинцевого порошку. Це дозволяє збільшити допустиме навантаження на ущільнюючий елемент у 2,5–3 рази.

Один із значущих недоліків каркасних стрічкових металофторполімерних матеріалів - це тонкий поверхневий шар 10–20 мкм, що знижує можливість механічної обробки виготовлених з таких матеріалів ущільнюючих елементів та обмежує тривалість їхньої експлуатації.

Металополімерні ущільнення досить чутливі до зміни температури через різницю термічних коефіцієнтів розширення їх компонентів, а це може спричинити заклинювання пари тертя. В зв'язку з цим, верхню температурну межу експлуатації металополімерних елементів обмежують допустимою деформацією на протязі визначеного періоду. В автомобільній техніці перспективними антифрикційними матеріалами вважають армовані політетрафторетиленовими волокнами [5]. Ці волокна мають в 25 разів більшу міцність на розтяг у порівнянні з монолітним фторопластом та значно підвищують несучу здатність наповнених композицій. Низька теплопровідність, яка є характерною для чистого фторопласту, та висока вартість цих волокон обмежують їх застосування. З ціллю підвищення теплопровідності та покращення механічних характеристик фторопластові матеріали армують вуглецевими волокнами [6]. Графітові волокна ряд іноземних фірм

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обробляють високомолекулярним фторидом графіту 5–45 об'ємних відсотків та фторопласту [7]. Така композиція здатна до самозмащування при температурі до 385 °С. В даному випадку, коефіцієнт тертя зменшується до 0,1 в залежності від навантаження та швидкості ковзання поверхонь, що взаємодіють.

Перспективні напрямки розробки багатофункціональних триботехнічних композитів на основі фторопласта включають використання полімер-олігомерних матриць та принципу багаторівневого модифікування [8].

Матеріали отримували шляхом використання активованих наповнювачів, які були піддані впливу коронного розряду. Полімер-олігомерні матриці одержували методом використання механічно активованих сумішей дисперсного та поверхнево активованого фторопласта. Введенням у склад композиту нанодисперсних компонентів, розміри фрагментів яких від 3 до 10 нм, досягається додатковий ефект. В даному випадку, спостерігається висока активність наноаповнювачів, обумовлена їх структурними параметрами та розмірами частинок [8].

Результати порівняльних досліджень теплофізичних, механічних та антифрикційних властивостей термопластів, які армовані вуглецевими та скляними волокнами, підтверджують перевагу карбопластиків перед термопластами, армованими скловолокном. Карбопластики виявились більш міцними за модулем згину у 2 рази, мають вищу теплопровідність у 2–3 рази та демонструють у 2 рази меншу деформацію в умовах повзучості у порівнянні з термопластами, які армовані скловолокном [9].

Такі високі показники карбопластиків у порівнянні з термопластами, армованими скловолокном, стали стимулом для проведення досліджень та розробки самозмащувальних матеріалів на основі фторопластів, які включають в себе вуглецево-волокнисті матеріали [10].

Вплив на властивості фторполімерних композитів марки фторопласту, його структури, природи вуглецевого волокна, умов обробки його частинок показано в таблиці 1.3.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

За впливом фторопластів на зносостійкість матеріалів з вуглецевими волокнами можна розташувати в наступний ряд $\Phi-4 > \Phi-4Д > \Phi-4ДПТ$.

Таблиця 1.3 – Антифрикційні властивості матеріалів на основі фторопластів

Матеріал	Фторопласт	Наповнювач	Спінання	Шлях тертя, км	Інтенсивність лінійного зносу, $\times 10^{-9}$	Коефіцієнт тертя
АФГ-80ВС*	Φ-4	20% графіту	-	100	19.1	0.25
4М15	Φ-4	15% MoS ₂	-	110	5.8	0.16
К15М5*	Φ-4	15% кокса+5% MoS ₂	-	136	4.4	0.41
4ГВ-15ДМ10	Φ-4	15% ГВ з тканини ТГН-2М+10% MoS ₂	Вільне	260	3.4	0.07
4ГВТ	Φ-4	20% ГВ з тканини ТГН-Т	Вільне	120	2.8	0.3
4ГВТ	Φ-4	20% ГВ з тканини ТГН-Т	Під тиском	120	1.6	0.33
4ГВ-ТД	Φ-4Д	20% ГВ з тканини ТГН-Т	Вільне	105	2.4	0.3
4ГВ-ТД	Φ-4Д	20% ГВ з тканини ТГН-Т	Під тиском	105	1.9	0.36
4ДГ-20	Φ-4ДПТ	20% ГВ з тканини ТГН-Т	Під тиском	208	3.3	0.19
4ГВ-20Д	Φ-4Д	20% ГВ з тканини ТГН-2М	Вільне	153	2.1	0.29
ЛГС-25-25*	Φ-4	25% латунь+25% графіто-свинцевого комплексу	Вільне	135	1.9	0.41
АФГМ*	Φ-4	35% графіту + 5% MoS ₂	Вільне	900	1.8	0.10
НАМИ-ФБМ	Φ-4Д	Бронза	Вільне	115	1.7	0.31
4ГВ-20	Φ-4	20% ГВ з тканини ТГН-2М	Вільне	110	1.7	0.27
Флубон-15/20 (Φ4-УВ20)	Φ-4	Вуглецеве волокно	Вільне	260	0.4	0.36
Флубон-15/20 (Φ4-УВ20)	Φ-4	Вуглецеве волокно	Під тиском	210	0.8	0.38
Флубон-20Д	Φ-4Д	Вуглецеве волокно	Вільне	220	0.3	0.36
Флубон-20Д	Φ-4Д	Вуглецеве волокно	Під тиском	176	0.4	0.38

Умови проведення досліджень наступні: питомий тиск 3МПа, швидкість ковзання 1–3 м/с, температура в області тертя 423 К, коефіцієнт взаємного перекриття 0,21, контртіло Сталь 45 твердістю по Брінелю 4520 МПа, відхилення профілю середнє арифметичне 0,2 мкм. * – зразки матеріалів.

Запропонована добавка дисульфиду молібдену призводить до зниження коефіцієнта тертя, при чому одночасно відбувається збільшенням стійкості до зносу.

Важливим і підкреслюваним є вирішальне значення вибору волокна, оскільки його властивості найбільше впливають на антифрикційні характеристики фторопластових композицій.

Проведені експерименти довели, що при наповненні фторопласту волокном з тканини ТГН, знос його буде на рівні кращих серійних матеріалів, таких як Ф4К20, АФГМ, НАМИ-ФБМ. Лише обґрунтований вибір спеціального вуглецевого волокна, яке надає можливість створювати стійку полімерну плівку на ділянці тертя, дозволив знизити знос у 4–5 разів (таблиця 1.3).

Отже, удосконалення безпосередньо технології виготовлення композиційних матеріалів на основі фторполімерів та вуглецево-волокнистих наповнювачів для деталей та вузлів автомобільної техніки, а також дослідження впливу цієї технології на їх зносостійкість та фізико-механічні характеристики є досить актуальною.

1.2 Формулювання завдання на вдосконалення технології виготовлення антифрикційних фторопластових карбопластиків

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є вдосконалення технології виготовлення композиційних матеріалів на основі фторопластів та вуглецево-волокнистих наповнювачів для деталей автомобільної техніки, дослідження впливу цієї технології на їх фізико-механічні характеристики і зносостійкість.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати особливості застосування ущільнювальних та антифрикційних матеріалів на основі фторопластів в автомобільній техніці.
2. Вдосконалити технологію приготування композицій антифрикційних карбопластиків.
3. Дослідити вплив технології виготовлення на зносостійкість і міцність та розтяг антифрикційних карбопластиків.
4. Проаналізувати технології фторвмісних композитів з підвищеними деформаційноміцнісними та триботехнічними характеристиками.

Об'єктом дослідження є технологія виготовлення антифрикційних фторопластових карбопластиків для вузлів тертя автомобільної техніки.

Предметом дослідження є підвищення продуктивності виготовлення антифрикційних фторопластових карбопластиків з високими фізико-механічними та антифрикційними характеристиками.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

2 ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ КАРБОПЛАСТИКІВ ТИПУ Ф4ВВ20

2.1 Аналіз технологій змішування та подрібнення антифрикційних карбопластиків з метою підвищення їх продуктивності

Оптимальний набір властивостей композитного матеріалу визначається такими параметрами:

- розміром та розподілом наповнювача;
- однорідністю розподілу його у полімерній матриці;
- характером взаємодії між полімером та наповнювачем.

Структура наповненого матеріалу складається безпосередньо на етапі змішування цих компонентів. Полімерні антифрикційні карбопластики в промисловості виготовляють за наступними технологічними схемами [11]:

1. Проведення процесу змішування порізаного або подрібненого сухого вуглецевого волокна діаметром 5–20 мкм довжиною 0,05–5 мм із порошком полімеру, частинки якого мають розміри 10–400 мкм.

2. Змішування вуглецевого волокна у вигляді суспензії в органічному середовищі з розчином полімеру у водному середовищі. Цей процес відбувається в колоїдних млинках, після чого проходить осадження, сушка та подрібненням отриманого продукту.

3. Змішуванням полімеру з концентратом, який підготовлений шляхом змочування розплавом або розчином вуглецевого волокна нескінченної довжини, з послідуною порізкою отриманого прутка.

4. Введенням в реакційну масу на стадії синтезу порізаного вуглецевого волокнистого матеріалу.

5. Нашарування пошарове волокон, повсті тканин, паперу.

6. Зволоження підготовленого вуглецевого волокнистого матеріалу розчином чи суспензією полімеру та проведення осадження матриці газової фази.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

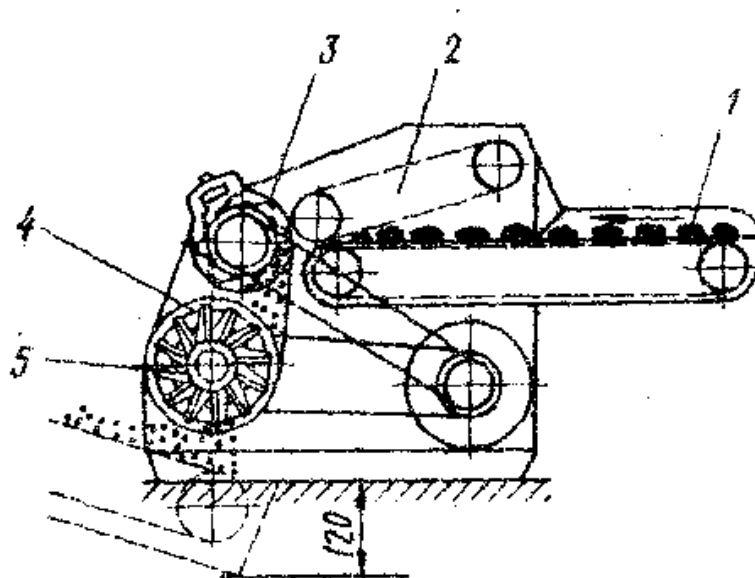
7. Намотування змоченого полімером вуглецевого волокна чи тканини на оправку.

8. На основі умов приготування можливе отримання композитних матеріалів, які достатньо різняться за фізико-механічними та фрикційними властивостями.

9. Самою простою, а також енергетично вигідною вважається технологічна схема приготування антифрикційних фторопластових матеріалів сухого змішування.

Для подрібнення волокнистих матеріалів та ефективного змішування вуглецевого волокна з порошком полімеру, використовується обмежене число подрібнювачів. Це обумовлено тим, що оптимальні умови для процесів подрібнення та змішування досягаються при частоті обертання робочих органів в межах 100–350 обертів в секунду, при цьому максимальна лінійна швидкість знаходиться в діапазоні 60–150 метрів в секунду.

З ціллю подрібнення волокнистих матеріалів у вигляді тканин або ниток нескінченної довжини до розмірів 2–30 мм використовується ножова дробарка з системою рухомих та нерухомих ножів (рисунку 2.1).



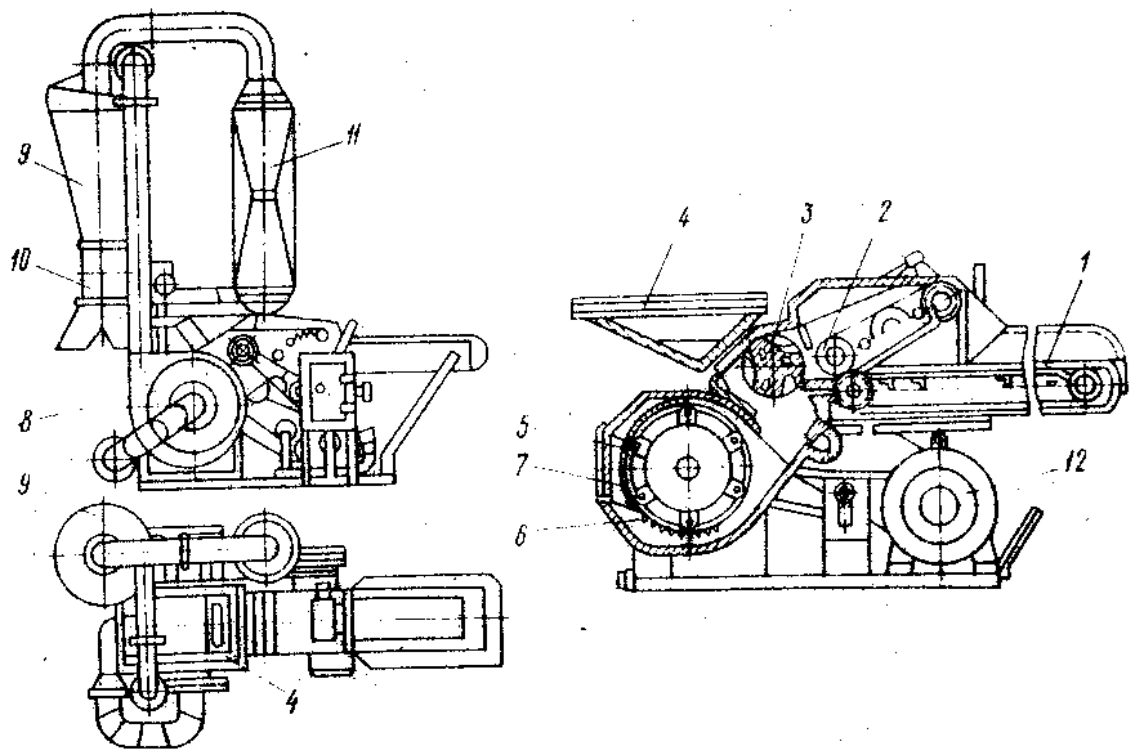
1 – транспортер; 2 – притискний пристрій; 3 – ніж для грубого подрібнення;
4 – нерухомий ніж; 5 – рухомі ножі

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Рисунок 2.1 – Сема ножової дробарки

Завдяки регулюванню зазору між ножами можна отримати фракції волокон таких розмірів: 2–8, 3–15 та 8–30 мм.

Щоб отримання фракції 0,5–8 мм застосовують дробарку молоткову КДУ. У цієї дробарки молотки рухомі, крім того вона оснащена сепаруючим пристроєм у вигляді решітки, діаметр отворів якої 0,8–1,5 мм (рисунок 2.2).



- 1 – транспортер; 2 – притискний пристрій; 3 – ножі для грубого подрібнення;
 4 – бункер; 5 – молотки; 6 – дека; 7 – решітка; 8 – вентилятор; 9 – циклон;
 10 – відсікач; 11 – накопичувач; 12 – електродвигун

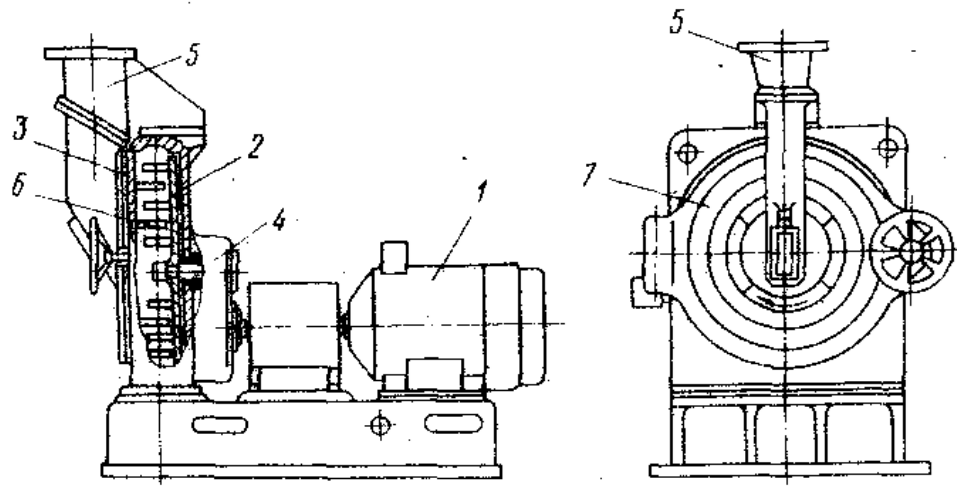
Рисунок 2.2 – Схема молоткової дробарки КДУ

Основні технічні характеристики молоткової дробарки: діаметр робочих органів – 0,48 м, частота обертання ножів 45 с^{-1} , максимальна лінійна швидкість транспортера 67 м/с.

Проте, цей подрібнювач має серйозний недолік. Він полягає у тому, що під час подрібнення наблюдають значні втрати вуглецевого волокна в результаті недосконалення установки для подрібнення інгредієнтів суміші.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Ефективним знаряддям для подрібнення та змішування є дисмембратор, оснащений одним рухомим та одним нерухомим дисками з пальцями, а також дезінтегратор, у якого два рухомі диски. Робочі параметри дисмембратора ДМБ такі: діаметр робочих органів $d_p = 0,16$ мм, частота обертання рухомого диску $f = 117\text{--}317$ с⁻¹, максимальна лінійна швидкість диску $v_{\text{макс}} = 59\text{--}159$ м/с (рисунок 2.3).



- 1 – електродвигун; 2 – рухомий диск; 3 – нерухомий диск; 4 – редуктор;
5 – приймальна воронка; 6 – пальці; 7 – відкидна кришка

Рисунок 2.3 – Схема дисмембратора

У випадку промислових дисмембраторів, параметри слідуєчі:

$$d_p = 0,25\text{--}0,63 \text{ м}, f = 167\text{--}62 \text{ с}^{-1}, v_{\text{макс}} = 131\text{--}123 \text{ м/с},$$

а для промислових дезінтеграторів:

$$d_p = 0,63 \text{ м}, f = 24 \text{ с}^{-1}, v_{\text{макс}} = 95 \text{ м/с}.$$

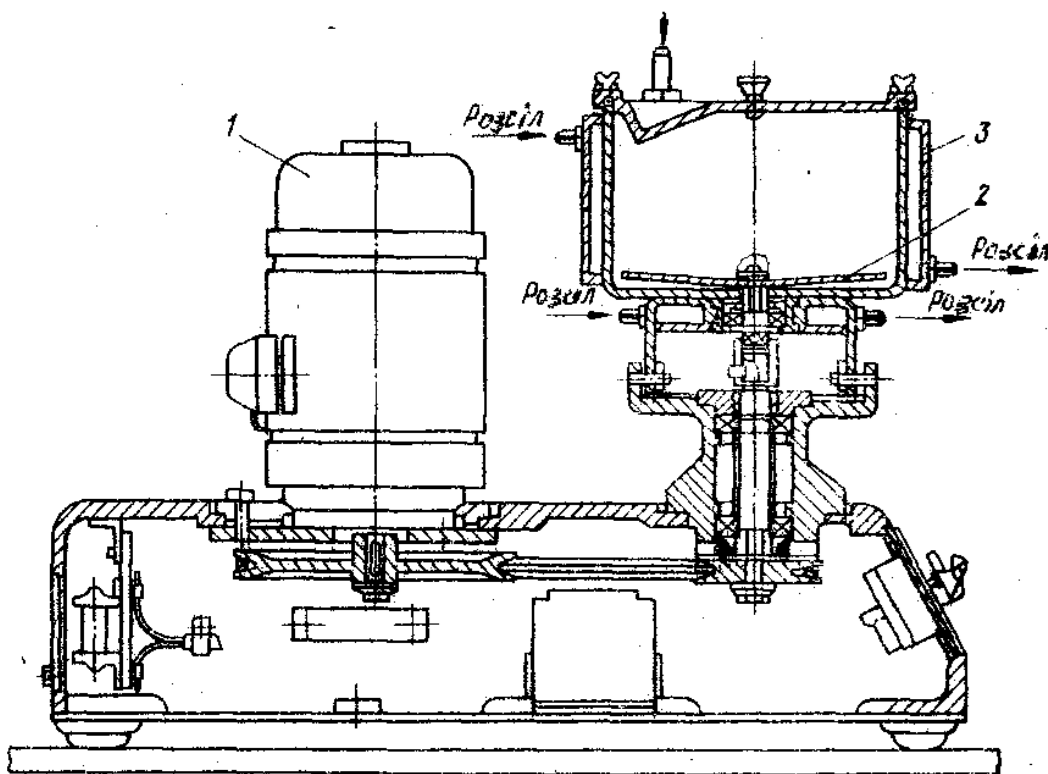
Проте, недоліком цих устаткувань є той факт, що в процесі виготовлення антифрикційних карбопластиків високоміцні вуглецеві волокна спричиняють зношування робочих органів. В таких випадках дисмембратор або дезінтегратор виконує функції змішувача, але лише частково подрібнює компоненти композицій.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Для досягнення більш мілкового подрібнення вуглецевих волокон до 0,05–0,6 мм та змішування композиційного матеріалу використовується змішувач-подрібнювач типу МРП-1 із плоскими ножем, розташованим біля дна ємності (рисунок 2.4).

Параметри цього подрібнювача наступні: діаметр ножа 0,205 м, частота обертання ножа 120 с^{-1} , відповідно максимальна лінійна швидкість 78 м/с. Недоліком цього подрібнювача є низька продуктивність приготування вуглецевого волокна і композицій антифрикційного матеріалу.

Для підготовки вуглецевих волокон виконується попередня порізка вуглецевої тканини на зразки таких розмірів: 2 см х 3 см.



1 – електродвигун; 2 – ніж; 3 – сорочка охолодження

Рисунок 2.4 – Схема високооборотного змішувача-подрібнювача МРП-1

Далі 20 г порізаної тканини засипається в змішувач-подрібнювач та подрібнюється протягом 2 хвилин. Застосування змішувача-подрібнювача МРП-1

						ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			20

дозволяє за одне завантаження приготувати 120 г композиції за 10 хвилин. При цьому необхідне періодичне охолодження камери помолу через кожні 2 хвилини та досягнення насипної ваги 40–50 кг/м³. Довжинами волокон має бути 60–100 мкм.

Для підвищення продуктивності етапу приготування композицій антифрикційних матеріалів був розроблений та виготовлений млинок "Ютон". Цей млинок оснащений ступеневим рухомим ножом та нерухомо закріпленими ножами у камері помолу (рисунок 2.5).

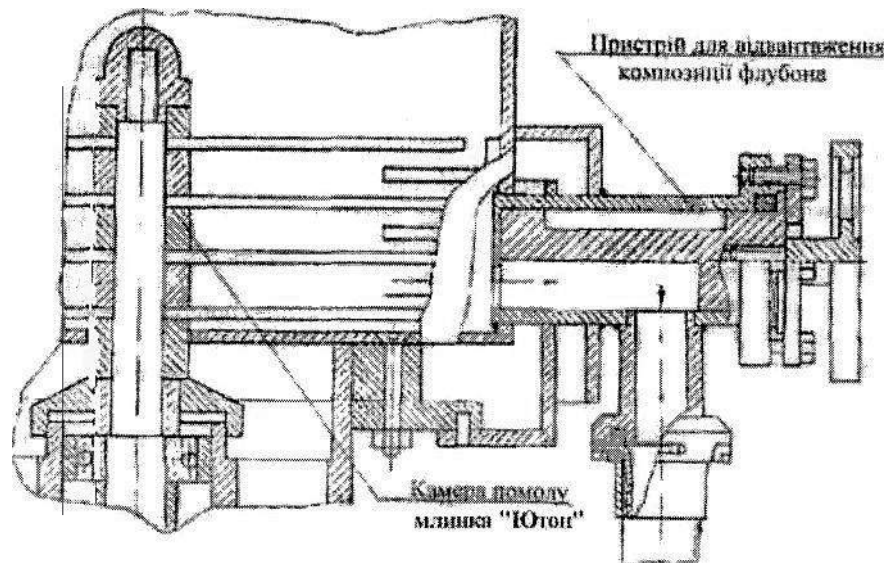


Рисунок 2.5 – Модернізований млинок "Ютон" для приготування композицій антифрикційних карбопластиків.

Конструктивно змішувач-подрібнювач "Ютон" складається: з корпусу, який опирається на чотири гумові ніжки; приводу; камери помолу та пульта управління. Корпус млинка виготовлений з алюмінієвого сплаву, у ньому кріпляться всі вузли та деталі для подрібнення.

Привідна система включає в себе електродвигун, який прикріплений за допомогою болтів до спеціального ексцентрикового обертаючого пристрою, шківа, розташованого на валу двигуна та клинового пасу.

Обертаючий ексцентриковий механізм призначений для налаштування натягу приводного пасу та включає в себе поворотний диск, який розташований у визначеному положенні.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Вал приводу розташований на двох кулькових підшипниках, що встановлені в корпусі. За допомогою гвинта сполучна муфта кріпиться на валу.

Камера подрібнення – це з два циліндри, що з'єднані між собою по дну гвинтами. Верхній циліндр є робочою камерою подрібнення, а нижній циліндр вважається опорним. На валу у камері помелу млинка закріплені ножі. Сам вал обертається на двох підшипниках, що встановлені в корпусі камери помелу.

Довжину вуглецевих волокон після подрібнення вимірювали з використанням оптичного мікроскопу.

Для виконання вимірів, спершу потрібно підготувати зразок, на якому розташоване подрібнене волокно. Далі цей зразок розташовують на мікроскопічному підкладі та уважно розглядають під оптичним склом.

Довжина волокна вираховується за розмірами та масштабом мікроскопу. Використовуючи позначення на масштабній лінійці, проводимо вимір довжини волокна у відповідних одиницях довжини.

Масу одиниці об'єму порошку, що вимірюється при його засипанні називають насипною масою порошкового композиційного матеріалу. Це досить важлива характеристика порошкових матеріалів, так як вона суттєво впливає на фізичні властивості цих композитів та на процеси, такі як злипання, компактність, та інші технічні операції.

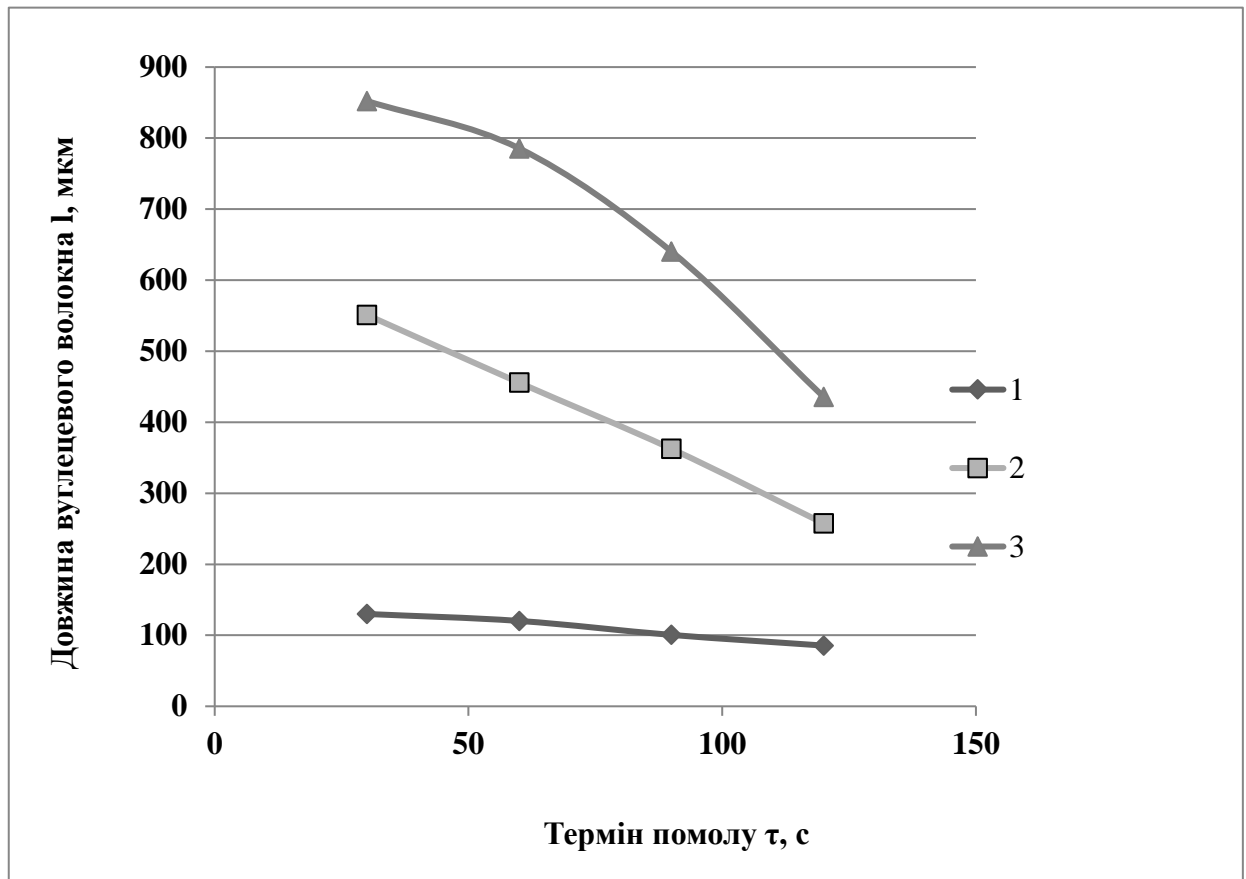
Щоб визначити насипну масу виконують експеримент. Порошок засипають в фіксованого об'єму стандартний контейнер та визначають його масу. Звичайно застосовують для цього спеціальну лабораторну посудину або циліндр. Розраховують насипну масу як відношення маси засипаного порошку до об'єму контейнера, у який він засипаний. Насипна маса порошкового композитного матеріалу є ключовим показником для виробництва композитів. Цей параметр визначає ступінь, до якої порошок може заповнити певний об'єм, і впливає на такі аспекти як щільність матеріалу, його механічні властивості та інші характеристики.

Використання млинка "Ютон" дозволило збільшити завантаження вуглецевого волокна у 2,5 рази та зменшити у 2 рази час подрібнення (рисунки 2.6,

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.7). На рисунку 2.6 зображена залежність довжини вуглецевого волокна з тканини «Текарм» (l) від терміну помолу (τ). Порізка на шматки вуглецевої тканини замінено руйнуванням тканини у прес-формі під тиском 50 МПа. На рисунку 2.7 зображена залежність довжини вуглецевого волокна (l) від насипної маси (ρ).

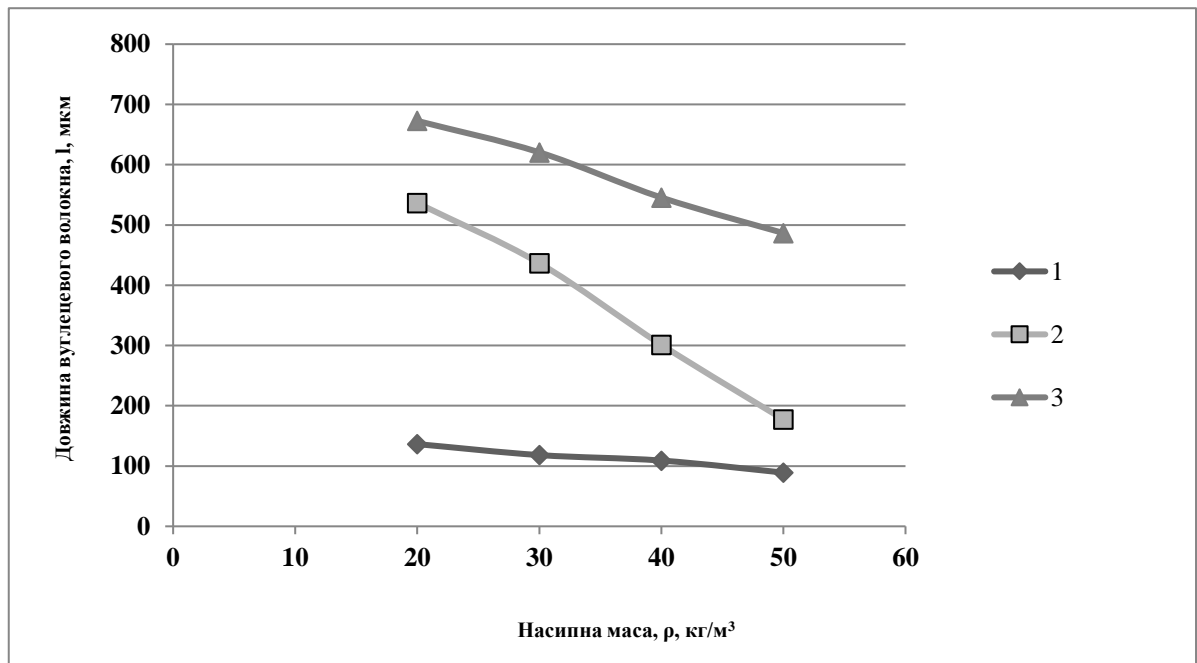
За оптимальну приймали насипну масу 40–50 кг/м³ та довжину вуглецевих волокон 60–100 мкм.



1 – подрібнення попередньо зруйнованої тканини «Текарм» у прес-формі камери помолу млинка «Ютон» (тиск 50 МПа); 2 – подрібнення попередньо зруйнованої тканини «Текарм» у прес-формі (тиск 50 МПа) у камері помолу млинка МРП-1 (маса завантаження 50 г); 3 – подрібнення порізаної тканини «Текарм» (розмір порізки 2 см×3 см) у камері помолу млинка МРП-1 (маса завантаження 20 г)

Рисунок 2.6 – Залежність довжини вуглецевого волокна з тканини «Текарм» (l) від терміну помолу (τ)

З ціллю підвищення ефективності вуглецевого волокна з тканини "Текарм" зразок тканини спочатку піддається руйнуванню методом пресування у прес-формі при тиску 50 МПа з послідуочим подрібненням у млинку "Ютон". Застосована ця технологічна операція замість порізки зразків вуглецевої тканини на шматки.

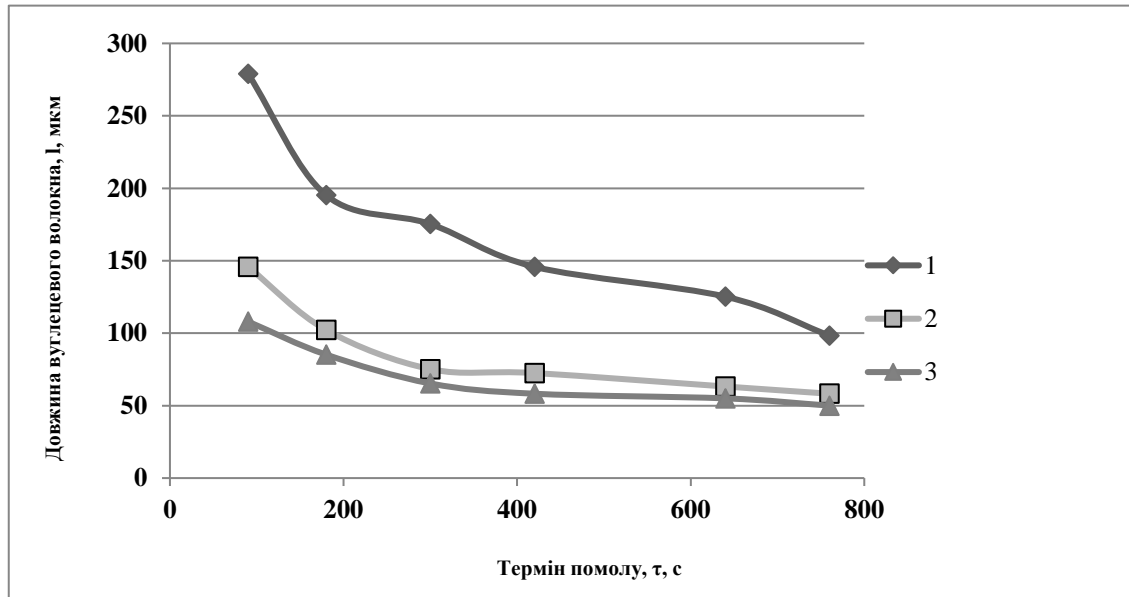


1 – подрібнення попередньо зруйнованої тканини «Текарм» у прес-формі (тиск 50 МПа) в камері помолу млинка «Ютон»; 2 – подрібнення попередньо зруйнованої тканини «Текарм» у прес-формі (тиск 50 МПа) у камері помолу млинка МРП-1 (маса завантаження 50 г); 3 – подрібнення порізаної тканини «Текарм» (розмір порізки 2 см×3 см) у камері помолу млинка МРП-1(маса завантаження 20 г)

Рисунок 2.7 – Залежність довжини вуглецевого волокна (l) від насипної маси (ρ)

Додатково використання ступеневих рухомих ножів, у поєднанні з нерухомо закріпленими ножами у камері помелу, сприяло збільшенню маси завантаження в три рази (360 г) і значному скороченню терміну приготування композиції у 8,4 рази (див. рисунок 2.8).

Важливою перевагою у модернізованому млинку "Ютон" є включення спеціального пристрою для засипання антифрикційних карбопластикових композицій на нерухому кріплену камеру помолу (рисунок 2.5). Продуктивність приготування композиції антифрикційного карбопластика при цьому зростає в 25 разів.



1 – маса завантаження: 120 г, 2 – маса завантаження: 240 г, 3 – маса завантаження: 360 г.

Рисунок 2.8 – Залежність довжини волокна (l) попередньо зруйнованої тканини "Текарм" від часу помолу (τ) в млинку «Ютон» композиції фторопласт-4 + вуглецеве волокно (20%).

2.2 Вплив технології виготовлення і природи матриці на механічні характеристики та зносостійкість антифрикційних карбопластиків

Щоб підвищити продуктивність виробництва антифрикційних карбопластикових композицій був спроектований та виготовлений млинок "Ютон" з наявністю ступеневих рухомих ножів та нерухомо закріплених в камері помолу (рисунок 2.5). Експериментально підтверджено, що використання даного млинка суттєво підвищує продуктивність приготування композиційних матеріалів.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Стоїть запитання, чи впливає таке підвищення продуктивності виготовлення композиційних карбопластиків на зносостійкість антифрикційного матеріалу та механічні характеристики? Також, для поліпшення фізико-механічних властивостей карбопластиків було проведено дослідження впливу заміни матеріалу матриці композицій, зокрема, фторопласту-4ПН на фторопласт-4ЕД, на міцність та зносостійкість антифрикційного матеріалу.

На одноосьовий розтяг для механічних випробувань використовують плоскі, трубчасті та кільцеві зразки [4]. З недоліків плоских зразків виділяють проблеми кріплення в захватах випробувальних машин. При невеликій довжині та ширині зразка дуже важко уникнути його проковзування чи роздавлювання в захватах. З ціллю часткового погашення цих недоліків вдаються до приклеювання або приварювання накладки з матеріалу, що має вищу пластичність та нижчу жорсткість, а ніж досліджуваний композиційний матеріал. До прикладу, на карбопластики рекомендують приклеювати накладки навіть з дерев'яного шпону. Результати, які одержані при осьовому розтягу плоских та трубчастих зразків, досить часто не збігаються. Причиною вважають відмінність у технології одержання та схемах напруженого стану зразків. Діло в тому, що в трубчастих зразках фіксується концентрація напружень поблизу захватів. При цьому розподіл напружень по довжині трубчастого зразка різниться від такого ж в плоскому, тому неможливо порівнювати результати досліджень плоских та трубчастих зразків між собою. Серед специфічних особливостей антифрикційних карбопластиків можна виділити наступні: ступінь натягу волокон, їх викривлення, наявність внутрішніх напружень, що враховуються з допомогою досліджень кільцевих зразків.

Дослідження з метою визначення міцності на розтяг проводилися за допомогою розривної машини МР-05-1 при швидкості розтягу 15 мм/хв.

Границя міцності на розтяг, визначена за формулою (1), не є точною характеристикою композитного матеріалу. Це через те, що поблизу місць роз'єму на півдисках відбувається деформація внаслідок зміни кривизни кільця, включаючи елементи розтягу та згину. При цьому співвідношення їх залежить від

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

відношення товщини стінки кільця до його діаметра. Чим більше це співвідношення, і чим виразніша анізотропія композитного матеріалу, тим більше проявляється вплив згину. Тому випробування з використанням кільцевих зразків слід виконувати тільки в ролі порівняльних, оскільки ці зразки не є точними індикаторами міцності на розтяг через вплив згину та інші фактори.

Отже, для дослідження міцності на розтяг антифрикційних карбопластиків використовувався стандарт ГОСТ11262-80. Експерименти виконувалися шляхом навантаження жорстких напівдисків, на які одягали досліджувальне кільце.

Границя міцності на розтяг (σ_p , МПа) розраховується за формулою:

(3.1)

$$\sigma_p = \frac{P}{2h(R-r)}$$

де P – розривне зусилля, Н;

h – висота зразка, мм;

R – зовнішній радіус, мм; r – внутрішній радіус, мм.

Результати досліджень на міцність при розтягу антифрикційного карбопластика Ф4ВВ20 наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Міцність при розтягу матеріалу Ф4ВВ20

Найменування матеріалу матриці	Найменування млинка для приготування композиції	Границя при розтягу, в МПа
Фторопласт-4ПН	"Ютон"	16,2
Фторопласт-4ЕД	"Ютон"	18,86
Фторопласт-4ПН	"МРП-1"	18,59

Отримані результати досліджень свідчать, що заміна матеріалу матриці з фторопласта-4ПН на фторопласт-4ЕД в антифрикційному карбопластику майже не впливає на його міцність при розтягу.

Використання більш продуктивного млинка "Ютон" для виробництва антифрикційного карбопластика флубон-15/20 на основі фторопласта-4ПН призводить до невеликого зниження його міцності на розтяг, а саме на 13%.

Вивчення стійкості до зносу антифрикційних карбопластиків проводилося за допомогою трипальчастого трибметра, використовуючи схему "сфера-площина". Це передбачало режим змінюваних граничних питомих навантажень при постійному вертикальному тиску. Зразки кінцевою сферою радіуса 6,35 мм при висоті 12 ± 1 мм та діаметром $10 \pm 0,1$ мм перебували у контакті зі сферою по площині металевого контртіла. Виготовлене контртіло зі сталі 45 (НВ $4,5 \pm 0,18$ ГПа) та піддано шліфуванню до середньоарифметичного відхилення профілю поверхні, рівного $Ra = 0,2 \pm 0,03$ мкм.

Дана схема досліджень передбачає дві характерні області:

- зона мінімальної взаємозалежності зносу від шляху тертя виникає тоді, коли питома навантаження змінюється від значення, близького до твердості матеріалу НВ, до навантаження, що відповідає граничній навантажувальній здатності. У цьому режимі шлях тертя складає 3 км;
- ділянка лінійної залежності зносу від шляху тертя виникає, коли граничне питома навантаження зменшується менше, ніж в першій області. У цьому випадку шлях тертя становить 50 км.

При цьому дотримувались наступних значень параметрів: нормальне навантаження на один зразок $N_i = 100$ Н, швидкість ковзання $v = 0,45$ м/с, температура $T = 323 \pm 2$ К, яку вимірювали на відстані 0,5 мм від поверхні контртіла.

У цих експериментах застосовували таку схему контакту: площина контртіла – сферична кінцівка пальчика.

Для схеми сфера – площина були виготовлені зразки циліндричної форми, закінчення яких мають вигляд напівсфери радіусом 6,35 мм.

Оцінка зносу зразків проводилась відповідно до критерію, який запропонував Левіс, визначаючи його як питому швидкість зношування. Також використовувався

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

критерій Ланкастера для оцінки, яка характеризує його як питому об'ємну інтенсивність зношування:

$$I = \frac{\Delta h}{\rho v \tau} = \frac{\Delta V}{N \cdot S}, \quad (3.2)$$

де ΔV – зношений об'єм, мм³;

N – нормальне навантаження, Н;

S – шлях тертя, м; ρ – питоме навантаження на зразок, МПа;

v – швидкість ковзання, м/с; τ – час випробувань, с.

Визначення шляху тертя виконували за формулою:

$$S = K \cdot \Delta A, \quad (3.3)$$

$$\Delta A = A_k - A_n, \quad (3.4)$$

де K – коефіцієнт перерахунку;

A_n – показник спідометра перед дослідженням;

A_k – показник спідометра після дослідження.

Коефіцієнт перерахунку знаходимо:

$$K = \frac{2\pi R_{TP} n}{\Delta A_T} \quad (3.5)$$

де R_{TP} – радіус тертя, мм;

ΔA_T – показники при таруванні на 1 км показників шкали;

n – число обертів шпинделя.

Інтенсивність об'ємного зношування обчислювали на двох етапах шляху тертя: ΔS_1 та ΔS_2 :

$$I_1 = \frac{\Delta V_{1i}}{N_i \Delta S_1}, \quad (3.6)$$

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_2 = \frac{\Delta V_{2i}}{N_i \Delta S_2}, \quad (3.7)$$

де ΔV_{1i} – зміна об'єму i -зразка на ділянці шляху тертя ΔS_1 (перший етап експерименту характерний для нелінійної залежності зношування від шляху тертя);

ΔV_{2i} – зміна об'єму i -зразка на ділянці шляху тертя ΔS_2 (другий етап експерименту характерний для лінійної залежності зношування від шляху тертя).

Для фрикційних досліджень зразки були виготовлені в такій послідовності:

- пресування порошку композицій для утворення заготовок;
- механічна обробка заготовок зразків.

Виготовлення заготовок лабораторних зразків композитних матеріалів із фторопласту-4 проводили з використанням двох технологічних режимів.

Перший технологічний режим.

Засипану у прес-форму шихту композиційного матеріалу з допомогою лабораторного гідравлічного пресу пресували за кімнатної температури при таких режимах: тиск пресування 60–70 МПа, час витримування при цьому тиску 5 хвилин (рисунок 2.9).

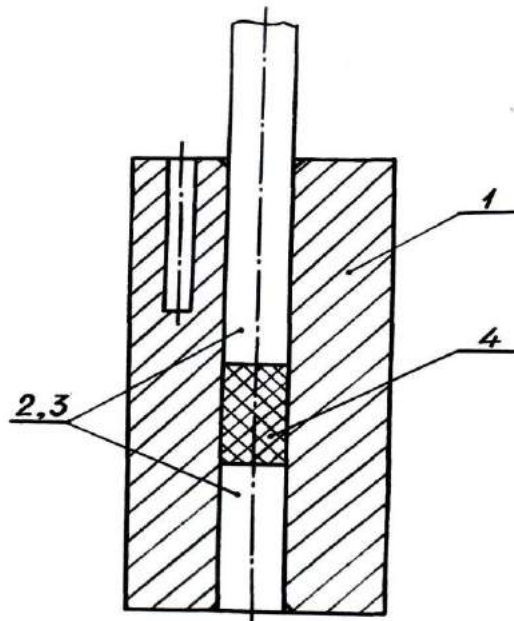
Далі виконували спікання композиту. За допомогою спеціального нагрівача підвищували температуру в печі від кімнатної до 360 °С, підтримуючи заданий тиск. У випадку появи течії композиційного матеріалу через верхній пуансон, тиск знімали та проводили підвищення температури до 370 °С. За цієї температури відбувалось термостатування на протязі 1,5 години. Далі виконували зниження температури до 360–365 °С і при цій температурі під тиском 60–70 МПа витримували на протязі 0,5 години. Наступний крок: охолодження заготовки під тиском до температури 80–100 °С та вилучення її з прес-форми.

Другий технологічний режим.

Засипану у прес-форму шихту композиційного матеріалу з допомогою лабораторного гідравлічного пресу пресували за кімнатної температури: тиск

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пресування 60–70 МПа, час витримування при цьому тиску 5 хвилин. Наступний крок полягає у вилученні заготовки з прес-форми та виконання термообробки в електричній печі.



1 – матриця; 2,3 – пуансони; 4 – лабораторний зразок

Рисунок 2.9 – Прес-форма для виготовлення лабораторних зразків

Технологічний режим термообробки зразків для фрикційних досліджень циліндричної форми діаметром 10 мм:

- швидкий нагрів зразків до температури 320 ± 5 °С зі швидкістю 1–1,5 градусів за хвилину;
- термостатування при температурі 320 ± 5 °С на протязі 1,5 години;
- нагрів до температури 365 ± 5 °С зі швидкістю 1,5–2,0 градуси за хвилину терміном 1 година;
- термостатування при температурі 365 ± 5 °С на протязі 3 годин;
- охолодження до температури 312 ± 5 °С зі швидкістю 1,5 градуса за хвилину на протязі 1 години;
- термостатування при температурі 312 ± 10 °С на протязі 1,5 години;
- охолодження зразків до температури 50 °С;

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

– вилучення охолоджених готових зразків з електропечі.

Механічна обробка лабораторних зразків.

Механічну обробку фторопластових композиційних матеріалів виконують за допомогою різців із твердих сплавів. У цьому процесі використовують такі параметри: швидкість різання в діапазоні від 7 до 120 метрів на хвилину, швидкість подачі в межах від 0,15 до 0,35 м/хв та глибину різання 0,1 міліметра.

Результати дослідження стійкості до зносу антифрикційного карбопластика Ф4ВВ20 представлені у таблиці 2.2. Інтенсивність зносу визначалась як середнє значення з трьох випробувань зразків. Коефіцієнт варіації знаходився в межах від 8 до 10%.

Таблиця 2.2 – Інтенсивність зносу антифрикційного карбопластика Ф4ВВ20

Найменування матеріалу матриці	Найменування млинка для приготування композиції	Інтенсивність зносу, $I_1 \cdot 10^{-7}$ мм ³ /Н.м, ($S_1 = 3$ км)	Інтенсивність зносу, $I_2 \cdot 10^{-7}$ мм ³ /Н.м, ($S_2 = 50$ км)
Фторопласт-4ПН	"Ютон"	6,37	2,08
Фторопласт-4ЕД	"Ютон"	6,50	1,16
Фторопласт-4ПН	"МРП-1"	11,2	2,19

Висновок з проведених досліджень свідчить, що використання високопродуктивного млинка "Ютон" для приготування композицій не призводить до істотного впливу на зносостійкість антифрикційного карбопластика Ф4ВВ20.

Але при заміні матеріалу матриці композиції з фторопласту-4ПН на фторопласт-4ЕД, зносостійкість антифрикційного композиційного матеріалу Ф4ВВ20 зростає в 1,8 разів.

Отже, при виготовленні антифрикційного композиційного матеріалу Ф4ВВ20 більш доцільно як матеріал матриці застосовувати фторопласт-4ЕД, а приготування композицій виконувати за допомогою високопродуктивного млинка "Ютон".

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

3 ТЕХНОЛОГІЯ ФТОРВМІСНИХ КОМПОЗИТІВ З ПІДВИЩЕНИМИ ДЕФОРМАЦІЙНОМІЦНІСНИМИ ТА ТРИБОТЕХНІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

3.1 Технологія спікання фторопластових композитів в умовах всебічного стиснення

Політетрафторетилен (ПТФЕ), який включає компоненти різного складу та виготовлений за різними технологіями, широко використовується для створення герметичних та триботехнічних виробів для статичних та рухомих з'єднань, що відповідають підвищеним експлуатаційним вимогам [1].

Вироби з фторопласту та його композицій виявляють малу чутливість до впливу рідинних плівок на поверхнях тертя, проявляють вищу стійкість до зношування при експлуатації при низьких температурах та в сухих газах у порівнянні з триботехнічними композитами на основі інших термопластів. Крім того, вони є більш технологічними у виготовленні та зручними у експлуатації завдяки високій еластичності і відсутності крихкості, що є характерним для вуглецевих матеріалів [2]. Проте при одержанні фторопластових композиційних матеріалів є проблеми, що зв'язані з інертністю матеріалу самої матриці і також високою в'язкістю розплаву. В даному випадку важко досягти достатнього адгезійного контакту полімерної матриці з верхнім шаром наповнювача, щоб досягти необхідну величину адгезійної взаємодії, яка є достатньою для одержання необхідних заданих параметрів службових характеристик. Відомі характерні особливості, які необхідно враховувати при удосконаленні технологічного процесу створення композитів на основі ПТФЕ [8]:

- досить низька активність макромолекул полімеру при адгезійній взаємодії з різного складу твердофазними наповнювачами;
- довготривалість процесу спікання заготовок та високі температури;

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

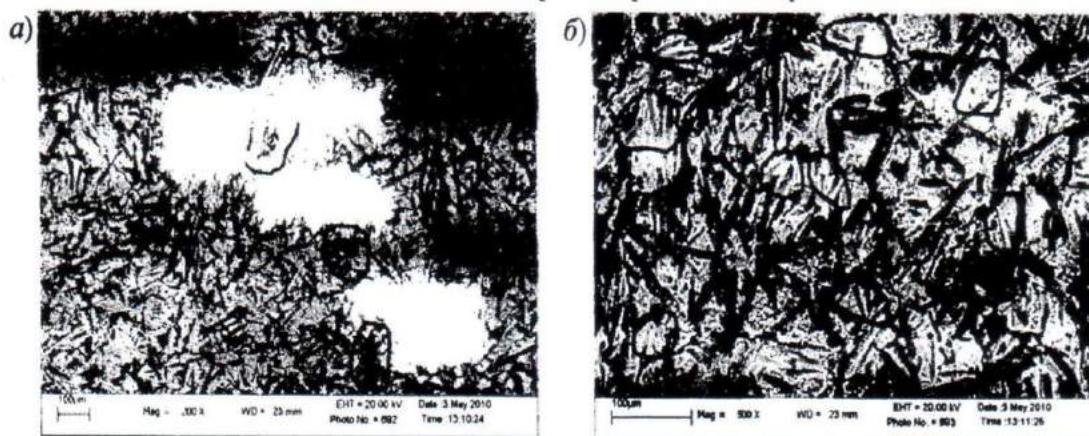
– відсутність в'язкотекучого стану при температурах плавлення кристалічної фази полімеру, аналогічного стану, що характерний для інших термопластів.

Ця особливість призводить до застосування широко поширеної технології виготовлення заготовок і виробів з композиційних матеріалів на основі ПТФЕ, що полягає в холодному пресуванні з подальшим спіканням [1].

Основний недолік фторопластових композитів, одержаних за традиційними технологіями, остається відносно рихла та пориста структура, що особливо виражена при вмісті наповнювача, перевищуючи 10 мас. %.

Тому для більшості індустріально вироблених фторкомпозитів є характерний негативний вплив на вихідні показники деформаційно-міцнісних характеристик матричного полімеру при введенні різноманітних наповнювачів за різною природою, складом та технологією одержання [1, 6]. Цей негативний ефект в значній мірі зумовлений недостатньою гомогенністю композиційного матеріалу, який одержується за допомогою механічного перемішування порошкових та коротковолокнистих наповнювачів.

На рисунку 3.1 наведена характерна структура композиту на основі фторопласту-4, наповненого вуглецевим волокном (ВВ).



а) – збільшення $\times 200$; б) – збільшення $\times 500$

Рисунок 3.1 – Мікроструктура зразка композиційного матеріалу на основі фторопласту-4, наповненого 20 мас. % вуглецевого волокна.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Виділені області матеріалу, які відзначені неперервними лініями, демонструють підвищену концентрацію вуглецевих волокон.

У випадку навантаження зразка у цих ділянках наблюдаємо концентрацію напружень, які приводять до появи тріщин та серйозного руйнування виробу.

Композити, котрі містять вуглецеві волокна, мають особливість, яка полягає в низькій міцності граничних шарів, що не дає наповнювачу реалізувати свої армуючі характеристики у повній мірі.

На рисунку 3.1 зображені ділянки руйнування композиту по межі розділу наповнювач — матриця, що показує відсутність міцного адгезійного зв'язку. Отже, головним завданням виробників фторопластових композитів є розробка методів для покращення експлуатаційних характеристик шляхом підвищення їх монолітності і зміцнення адгезійної взаємодії між матрицею та наповнювачем на межі їх розділу.

В промисловості є необхідним застосування нових ефективних підходів до модифікації вуглецевих волокон, що базуються на використанні досить простого технологічного обладнання, яке не вимагає вакууму високого тиску та активних фтормісних середовищ. У цьому контексті особливо перспективними є методи модифікації, засновані на використанні специфічної морфології поверхневого шару частинок наповнювача. Розробка технології, яка дозволяє зменшити негативний вплив на параметри деформаційних та міцнісних характеристик композиту через низьку адгезію полімеру до наповнювача, може стати каталізатором для подальшого розширення застосування фтор-композитів у різних галузях, зокрема в автомобільній техніці.

Для розробки такої технології важливо враховувати особливості частинок напівфабрикату політетрафторетилену, зокрема їх розвинену морфологію у поєднанні з невизначеністю геометричної форми, високою холоднотекучістю та відсутністю стану в'язкотекучості при температурах монолітизації. Ці фактори призводять до додаткових негативних явищ на межі розділу матриця – наповнювач.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

У зв'язку з цим, традиційна технологія пресування з подальшим спіканням може сприяти збільшенню дефектності напівфабрикатів.

Розробку відповідних технологій вели в двох основних напрямках:

- підвищення ступеня монолітизації заготовок під час термообробки;
- підвищення ступеня міжфазної взаємодії компонентів матеріалу.

Перший напрямок передбачає використання технології всебічного стиснення [2, 12], вдосконалену на базі даних про фазові перетворення політетрафторетилену, безпосередньо властивості матричного полімеру у різних станах, а також надання інформації про рівень теплового розширення заготовок з фторкомпозиційних матеріалів.

Високий температурний режим та термін процесу спікання заготовок напівфабрикатів вимагають використання лише тих модифікаторів для наповнення ПТФЕ, які залишатимуться стійкими і не зазнають значних змін у своїх параметрах під час інтенсивного руйнування протягом тривалого термопроцесу до 15 годин при температурі спікання 360–370 °С. В цьому контексті найбільш розповсюджені композити на основі фторопластів з термостійкими вуглецевими наповнювачами, такими як кокс, графіт, технічний вуглець, вуглецеві волокна. Ці композити відзначаються підвищеною стійкістю до термоокислення.

Монолітизацію заготовок під час спікання можна забезпечити за допомогою методу спікання заготовок із композитного матеріалу на основі політетрафторетилену з вуглеволокнистими наповнювачами. Цей метод ґрунтується на виникненні натягу під час теплового розширення заготовок, при якому натяг формується до або під час спікання при температурі, яка не перевищує температуру переходу полімеру у в'язкотекучий стан. [1,2]. Хоча одним із недоліків розробленого методу є значна кількість виробів, що бракуються через тріщини заготовок, які піддаються натягу у стані після спікання. Отримані результати та дані досліджень [1,2] підтверджують все-таки перспективність цього підходу для підвищення експлуатаційних характеристик композиційних матеріалів на основі фторопласту.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

З метою зниження втрат від браку та досягнення стабільно високих результатів був розроблений унікальний метод формування заготовок або виробів.

Перед термообробкою заготовки встановлюють в зазори між зовнішньою поверхнею заготовки та внутрішньою поверхнею оправки для обмеження об'єму теплового розширення за температури вище 573 К, коли композиційний матеріал перебуває у високоеластичному стані. У даному випадку торці заготовок піддавали обробці графітом або застосовували кільця з алюмінієвої фольги перед процесом термообробки. Термообробку проводили в діапазоні температур від 573 до 633 К, з утриманням при максимальній температурі протягом терміну часу, що дорівнює $b/4$ годин, де b - товщина стінки заготовки в міліметрах. Встановлення зазорів між деталями оправки та заготовки перед термообробкою, які обмежують теплового розширення об'єм, приводить до обмеження обсягу на етапі перебування композиційного матеріалу у високоеластичному стані. Це дає можливість уникнути тріщин та розтріскування заготовок, які можуть виникнути, якщо натяг застосовується при температурі, коли композит перебуває в склоподібному стані. В результаті цього забезпечується стабільно високий рівень фізико-механічних характеристик спечених композитних матеріалів.

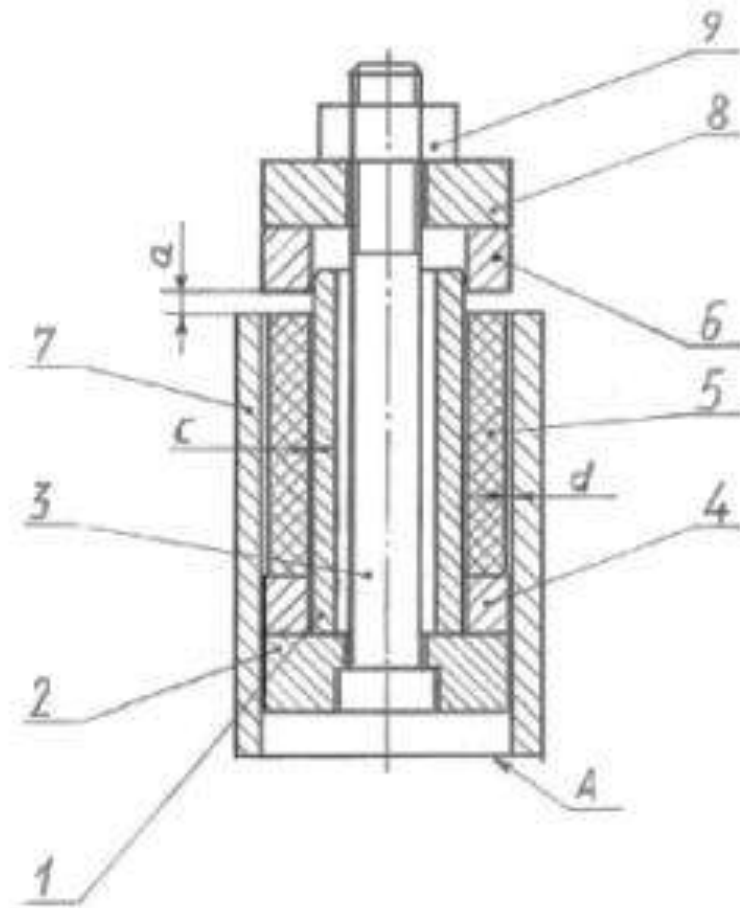
Торці заготовки, які піддаються натиранню графітом або мають кільця з фольги, дозволяють уникнути взаємодії елементів оправки з торцями заготовки під час спікання. Це сприяє покращенню якості готових виробів.

У випадку виконання процесу термообробки в межах температур 573–633 К та витримки за максимальної температури терміном оптимального часу є можливість досягти повної агломерації часток фторопласту при зменшенні тривалості спікання в цілому у порівнянні з аналогом [95], що передбачає довший термін спікання та при вищих температурах. Отже, отримується значна економія енергоресурсів. Запропонований спосіб формування заготовок із використанням технології всестороннього стиснення (ВС) пояснюється схемою на рисунку 3.2. На першому валу, що проходить через нижній диск 2, закріплений гвинтом 3, надягають нижню обойму 4. На стержень 1 встановлюють заготовку, яку

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

попередньо прокалили з обох боків за допомогою натертого графіту або з встановленими прокладками з алюмінієвої фольги між кільцями 2, 6 та заготовкою.

На зібрану конструкцію монтують гільзу 7 та верхній диск 8. Використовуючи гайку 9, виставляють зазор такої величини, щоб заготовка 5, яка під впливом температури збільшується у вертикальному напрямку, піднімаючи при цьому кільце 6 та диск 8, які після утворення зазору досить вільно опускаються на торець заготовки 5 та одночасно з нею, валом 1, нижнім диском 2, гвинтом 3 та нижнім кільцем 4 розташовуються в одній площині з торцем гільзи А; а заготовка вибирала зазор (а) при температурі вище 573 К при високоеластичному стані матеріалу.



1 – втулка; 2 – опора; 3 – центруючий стержень; 4 – нижнє кільце; 5 – заготовка; 6 – верхнє кільце; 7 – обойма; 8 – притискне кільце; 9 – фіксуєча гайка

Рисунок 3.2 – Схема збирання заготовки в оправці для спікання в умовах всебічного стиснення

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Зовнішній діаметр заготовки 5 та внутрішня поверхня гільзи 7 взаємодіють так, що створюється зазор d , розмір якого забезпечує відповідний відсік d при температурі, що перевищує 573 К, коли заготовка розширюється у радіальному напрямку під впливом температури.

Підбір величини зазору виконують експериментально методом визначення розмірів заготовок, які нагріті до температури плавлення ПТФЕ близько 603 К. Розміри заготовок отримують за допомогою штангенциркуля ШЦ-1 у міліметрах. Розміри зазорів a та d підбираються для кожного конкретного типорозміру заготовок та марки композиційного матеріалу. Важливо відзначити, що для визначення розміру зазору a достатньо провести виміри лише на одному типорозмірі заготовок. Розмір зазору a визначають у відсотках відносно висоти неспеченої заготовки. Значення цього відсотка встановлюють на основі експерименту, який проводиться для одного з типорозмірів і залежить від інших геометричних характеристик цієї заготовки. При визначенні розміру зазору a не враховують подовження дисків 2 і 8, кілець 4 і 6, а також гвинта 3, оскільки це подовження є незначним порівняно із збільшенням розміру заготовки. Матеріал заготовки має значно вищий коефіцієнт термічного лінійного розширення (КТЛР) у напрямку пресування, ніж у випадку вуглецевої сталі.

Зазор d встановлюється індивідуально для конкретного типорозміру заготовок. При його визначенні враховується теплове розширення сталеві гільзи 7, яке може відрізнятись в залежності від промислової марки сталі, напряму прокату та інших технологічних факторів. Також у розрахунках враховується різновтовщинність втулок, яка може виникати при пресуванні заготовок із-за зміщення стержня прес-форми відносно осі матриці. Зазор між стержнем 1 та заготовкою, що піддається термообробці, встановлюють мінімальним, проте достатнім для необхідного розташування заготовки в оправлення ($c = 0,2-0,3$ мм). Так як коефіцієнт температурного лінійного розширення матеріалу заготовок більший, ніж сталі, з якої виготовлений стержень, заготовка 5 не торкається стержня 1 до утворення кристалічної форми, коли об'єм матеріалу збільшується на

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

25 відсотків [2]. Запропонований метод термообробки заготовок з фторопластового композиційного матеріалу в умовах всебічного стиснення досліджено при отриманні заготовок з композитів заданого складу. Багатоступінчасте спікання виконували за наступними режимами: сушіння – 423 К, витримка – 598 К, термообробка – 633 К на протязі часу $t/4 = 2,5$ години, витримка – 585 К, витримка – 423 К. При натиранні торців заготовки графітом або одягання кілець з фольги, будучи спресованою, заготовка досить легко виймається з оправки.

З одержаних заготовок способом точіння виготовляли необхідні зразки для випробувань. У таблиці 3.1 наведені результати випробувань на міцність при розриві зразків із композиційного матеріалу, який був насичений вуглецевими волокнами у кількості 20 мас. % та піддавався термообробці в умовах всестороннього стиску та у вільному стані.

Таблиця 3.1 – Міцність при розтягу композиційного матеріалу на основі фторопласту Ф-4, наповненого дискретними вуглецевими волокнами у кількості 20 мас. %.

Характеристика	Спосіб термообробки	
	Вільне спікання	Спікання в умовах всебічного стиснення
Міцність при розтягу, МПа	17	28

Виходячи з даних таблиці 3.1, впливає висновок, що використання технології всестороннього стиснення приводить до збільшення показників міцності при розриві композитних матеріалів на основі фторопласту до рівня чистого фторполімеру, ліквідувавши процес зниження міцності базового полімеру при модифікації вуглецевими волокнами [8].

Для традиційного процесу виготовлення заготовок та виробів з фторкомпозитів, який включає етапи дозування, змішування, холодного

пресування заготовок з подальшим спіканням на повітрі, ключовим фактором є однорідність вихідного напівфабрикату. При перемішуванні компонентів композиту у змішувачі-подрібнювачі неможливо отримати однорідну бездефектну структуру. З підвищенням кількості наповнювача дефектність композиту зростає і досить інтенсивний механічний вплив на заготовку при холодному пресуванні не допомагає ліквідувати структурні дефекти, отримані агломеруванням фрагментів вуглецевими волокнами та неефективним змішуванням традиційним технологічним обладнання, таким як лопатеві змішувачі. Дефекти структури заготовок композитних матеріалів, які виникли на етапі їх виготовлення методом холодного пресування, істотно залишаються і після вільного спікання. Це відбувається в значній мірі через те, що матричний полімер політетрафторетилен не може переходити в виражений в'язкотекучий стан, який є характерним для інших типів термопластичних матриць. Крім того, він не може заповнювати мікропорожнини в композиті, що приводять до зниження параметрів його основних характеристик, особливо теплофізичних, деформаційних та міцнісних властивостей.

При термічній обробці відпресованих заготовок способом вільного спікання не утворюється необхідна адгезійна взаємодія на межі розділу вуглецеве волокно – матриця, що виражено досить низьким модифікуючим ефектом використання достатньо міцного наповнювача. Такі зразки відзначаються багатьма слідами видалення фрагментів вуглецевого волокна з матриці без взаємодії через адгезію між їх компонентами.

У випадку застосування технології всестороннього спікання при особливостях теплофізичних характеристик частинок політетрафторетилену та фрагментів вуглецевого волокна спостерігаються умови для знищення мікропорожнин, які були утворені при змішуванні компонентів. При цьому кількість дефектів в загальному обсязі композиційного матеріалу суттєво зменшується. Під дією деформуючих напруг, що обумовлюються тепловим розширенням компонентів, на межі розділу політетрафторетилен – вуглецеве

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

волокно формується структура граничного шару з меншою дефектністю. Полімерні прошарки з'єднують фрагменти армуючих волокон, що призводить до збільшення ефективності зміцнення завдяки зростанню частки механічної компоненти сили адгезійної взаємодії на межі їхнього розділу.

Шляхом контрольованих режимів формування в умовах обмеження теплового розширення заготовок, застосовуючи традиційні методи підготовки компонентів та виготовлення композитного матеріалу, досягається значно більший рівень реалізації потенційних можливостей, вбудованих у матрицю політетрафторетилену та вуглецевий наповнювач. Це приводить до значного підвищення триботехнічних, деформаційних, міцнісних та теплофізичних характеристик, які визначають експлуатаційний ресурс виробів у конкретних металополімерних системах самого різного функціонального призначення. Відслідковується позитивний ефект при використанні як мононаповнювача в композит, так і комбінованого наповнювача, до прикладу: вуглецеве волокно плюс технічний вуглець.

Результати досліджень міцності композиційних матеріалів на основі фторопласту-4, наповненого вуглецевим волокном та технічним вуглецем, одержані при термообробці в умовах всестороннього стиску та вільному спіканні, представлені у таблиці 3.2. Показник параметру межі міцності при розтягу помітно перевершують аналогічні показники для матеріалів, виготовлених за традиційною технологією.

Для вирівнювання термодинамічних характеристик між фторопластом та вуглецевим волокном також можна використовувати модифікатор "Форум" – ультрадисперсний політетрафторетилен (УПТФЕ).

Характеристики міцності композиційного матеріалу, який був насичений вказаним модифікатором, майже ідентичні при вільному спіканні та застосуванні технології всестороннього стиснення. Це свідчить про високу ефективність ультрадисперсного модифікатора, так як забезпечує монолітизації заготовок.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, введення часточок ультрадисперсного політетрафторетилену в композит дозволяє підвищити спорідненість безпосередньо між фторопластом та частинками вуглецевого волокна.

Таблиця 3.2 – Міцність композиційного матеріалу на основі фторопласту з комбінованим наповнювачем (ВВта ТВ) при розриві

Склад композиційного матеріалу	Межа міцності при розтягу, МПа	
	Вільне спікання	Спікання в умовах всебічного стиснення
5 мас. % ВВ, 10 мас. % ТВ, 85 мас. % фторопласт-4	22,5	29,5
10 мас. % ВВ, 10 мас. % ТВ, 80 мас.% фторопласт-4	16,5	30,5
15 мас. % ВВ, 5 мас. % ТВ, 80 мас. % фторопласт-4	13,5	22,5

Це проявляється у підвищенні характеристик міцності композиту до такого рівня, який близький до того, що досягається при термообробці в умовах всестороннього стиску (див. таблицю 3.3).

Таблиця 3.3 – Міцність композиційного матеріалу на основі фторопласту з комбінованим наповнювачем (ВВ та УПТФЕ) при розриві

Склад композиційного матеріалу	Межа міцності при розтягу, МПа
19 мас. % ВВ, 1 мас. % УПТФЕ, 80 мас. % фторопласт-4	27,0

Дослідження мікроструктури композиційних карбопластиків, одержаних за різними технологіями, вказують на якісні зміни у структурі граничного шару: характерний високодефектний шар, який утворюється при традиційній технології термообробки заготовок, перетворюється в структуру із високим рівнем адгезії. Використання модернізованої оправки при розриві значно підвищує параметр міцності композиту: збільшення досягає 50%, тоді як при стиску (10% деформації) в порівнянні з традиційною термообробкою відзначається підвищенням на 20%.

Тим часом, використання модернізованої оправки призводить до мінімізації кількості виробів низької якості.

Зміцнюючий ефект, ймовірно, виникає внаслідок комбінованої впливу нормальних та тангенційних напружень на інтерфейсі матриця – наповнювач. Це приводить до взаємодії макрорадикальних продуктів трибоккрекінгу політетрафторетилену (ПТФЕ) з активними центрами наповнювача та зменшення дефектності граничного шару через заповнення мікронерівностей волокнистого модифікатора матричним полімером за рахунок механохімічного пластифікування.

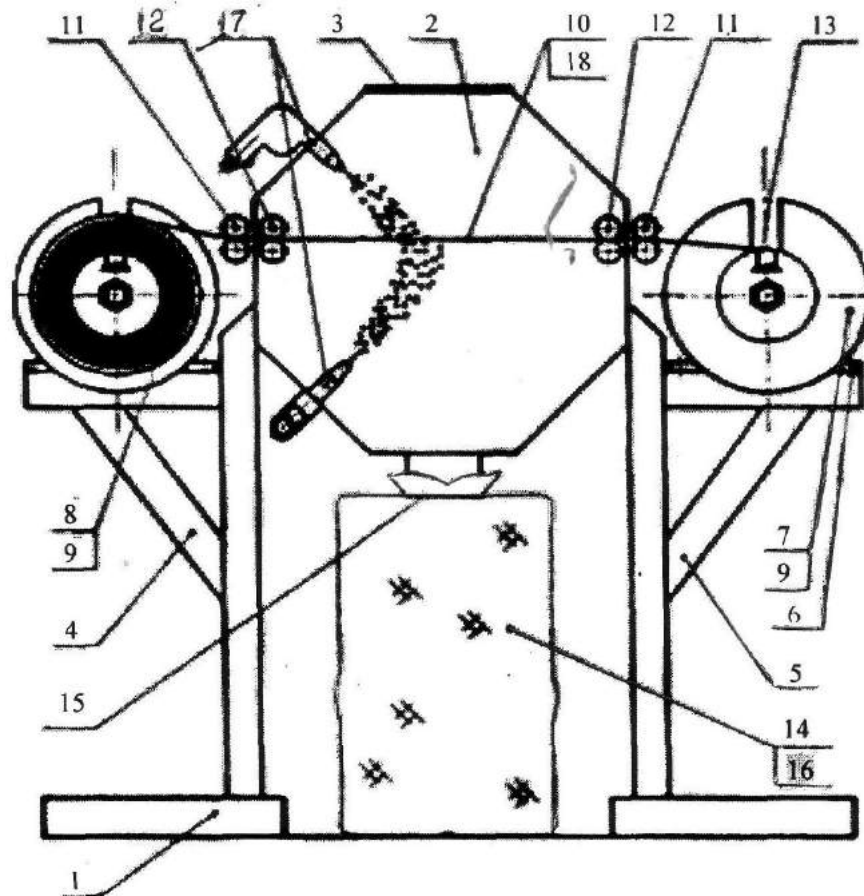
3.2 Технологія міжфазної взаємодії компонентів матеріалу на основі ПТФЕ, модифікованого вуглецевими волокнами

Вуглецеву стрічку попередньо обробляли шляхом нанесення ультрадисперсного політетрафторетилену за допомогою трибостатичного напилення.

Використання УПТФЕ обумовлене унікальною структурою макромолекул, які мають подвійні зв'язки, бічні відгалуження та кінцеві групи різного складу. Це проявляється у їх здатності утворювати активні фторвуглецеві фрагменти під час термодеструкції. [14]. Ці радіали можуть взаємодіяти з активними центрами на поверхні наповнювача, що приводить до утворення граничного шару між наповнювачем та фторопластовою матрицею, який характеризується мінімальною кількістю дефектів. [12]. Дослідження показали, що частинки ультрадисперсного політетрафторетилену, одержані технологією термогазодинамічного синтезу, є

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

структурою, утвореною високомолекулярним ядром та полімолекулярною багатошаровою олігомерною оболонкою [11,12,]. Олігомерний компонент в структурі УПТФЕ допомагає утворювати модифікацію багатофакторну не тільки компонентів матриці та наповнювачів, а також металополімерної трибосистеми [1,2]. Для проведення трибостатичного напилення ультрадисперсного політетрафторетилену на вуглецеву стрічку марки ЛО-І-1 2Ш40 розроблено спеціальну установку, яка працює за схемою, зображеною на рисунку 3.3.



1 – рама; 2 – камера; 3 – люк оглядовий; 4, 5 – кронштейни; 6 – двигун-редуктор; 7 – ведучий барабан; 8 – ведомий барабан; 9 – кришка знімна; 10 – стрічка з напиленням; 11 – ролики направляючі; 12 – ролики ущільнюючі; 13 – клин; 14 – фільтр-мішок; 15 – кільце гумове; 16 – сітка; 17 – трибостат; 18 – ущільнення

Рисунок 3.3 – Принципіальна схема установки для модифікування вуглецевих волокнистих матеріалів

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Згідно з розробленою методикою, вуглецеву стрічку проводять через камеру (2), використовуючи ведучий (7) та ведений (8) барабани. У цій камері стрічка піддається спрямованій обробці повітряним потоком частинок УПТФЕ, який надходить з двох трибостатичних пістолетів (17).

Після завершення процесу модифікації проводиться високотемпературне фіксування частинок модифікатора на стрічці в режимі температур від 90 до 340 °С на протязі 3–30 хв. Це проводиться для запобігання втрат ультрадисперсного політетрафторетилену з вуглецевої стрічки при подрібненні на дисмембраторі, для забезпечення на поверхні волокон модифікуючої дії олігомерних фракцій.

Ця технологія є досить ефективною, так як можна застосовувати найдешевші марки ПТФЕ та одночасно одержувати композитні матеріали, показники міцнісних характеристик яких на 20–30% вищі, ніж досягаються при традиційних методах та використанні висококласних марок фторопластів.

3.3 Технологія додаткової механоактивації фторопластової композиції

Відомо, що при подрібненні вуглецевого волокна, змішуванні композиції спричиняється активація частинок компонентів через їх зіткнення та тертя один об одного, а також через взаємодію з елементами змішувача або розмелювача. [1,2,12]. Проте у певних ситуаціях цей ефект виявляється недостатнім для досягнення високих міцних характеристик композитного матеріалу, особливо при значно вищих рівнях наповнення.

Для зниження пористості композиту та підвищення ефективності процесу монолітизації при спіканні рекомендовано застосовувати метод механоактивації, тобто ущільнення, яке включає пропускання композиції між валиками, що обертаються. Перший валик є нерухомим, другий має можливість переміщуватись в горизонтальній площині. Валики мають бути щільно зімкнуті, тиск стиснення їх не більше 6000 Н. Питомий тиск у зоні контакту забезпечується наступний: 0,8–1,0

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

ГПа. Діаметр валиків $d = 160$ мм. Обертаються валики за годинниковою стрілкою з частота обертання переднього валика $n_1 = 28 \text{ хв}^{-1}$, заднього – $n_2 = 35 \text{ хв}^{-1}$ (рисунок 3.4).

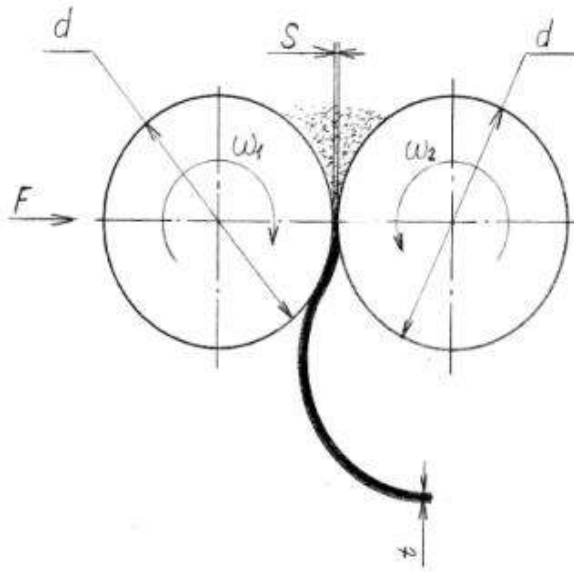


Рисунок 3.4 – Схема механоактивації композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену

У вигляді порошку композиційний матеріал в кількості 0,5–3 кг засипають у бункер, розташований над валиками. Провертаючись в протилежні сторони, валики протискають між собою порошок композиційного матеріалу (КМ), в результаті на виході маємо листок матеріалу темно-сірого або чорного кольору товщиною 0,1–0,35 мм. Утворений лист під власною вагою опускається на стрічку транспортера, яким направляється у розташовану під конвейером ємність. Для уникнення злипання аркуша з елементами технологічного обладнання під рухомим валиком встановлено шкребок, який відокремлює елементи, що прилипають періодично до рухомого валика, та направляє плівку композитного матеріалу на стрічку конвеєра.

Для уникнення витікання порошку композитного матеріалу в області з'єднання бункера та валків використовуються фторопластові прокладки.

Лист активованого композиційного матеріалу спрямовують на процес подрібнення та розпушування за допомогою швидкохідного змішувача.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Подрібнення та розпушування виконували на протязі 1,5–2 хв. Після завершення процесу отримання порошку композитного матеріалу його висипають на листи товщиною не більше 40 мм та направляють у термпіч для сушіння.

У разі, якщо активацію виконують після сушіння компонентів, отриманий порошок композитного матеріалу можна використовувати для пресування заготовок.

Активований напівфабрикат композиційного матеріалу, розроблений за оригінальною технологією, отримує характерну структуру з частинками ПТФЕ, які орієнтовані в результаті зсувних деформацій у зазорах валків технічної установки (рисунок 3.4).

Важливим аспектом розробленого способу механічного активування (МА) компонентів є здатність обробки сумішей різного складу, включаючи в себе великий вміст вуглецевих волокон.

Електронна мікроскопія показує, що при підвищеному вмісті вуглецевого наповнювача (25 мас.% вуглецевого волокна) формується досить гомогенна структура напівфабрикату. Ця структура є більш технологічною у наступних операціях пресування порівняно зі звичайною механічною сумішшю компонентів. Основна перевага полягає в тому, що гомогенна структура зберігає рівномірне розподілення фрагментів наповнювача в матриці і не схильна до агрегування, навіть при тривалому зберіганні в складських умовах. При тривалому зберіганні порошкоподібний політетрафторетилен, найбільш використовуваний у технології машинобудування, та механічна суміш (політетрафторетилен і вуглецеве волокно), одержана за традиційною технологією змішування, проявляють підвищену схильність до комкування та утворення великих напливів, що ускладнюють подальшу обробку. Використовуючи дану технологію, були виготовлені композиції різного складу, і виявилось, що ця технологія є найбільш ефективною при виробництві композиту з підвищеним до 25-30 мас. % вмістом вуглецевого наповнювача.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Досліджено, що при збільшенні вмісту вуглецевого волокна у фторопластовій матриці збільшуються показники теплопровідності композиційного матеріалу. Це сприяє полегшенню процесу відведення тепла із фрикційної зони контакту. При експлуатації ресурс ущільнення за підвищеної температури збільшується.

Також слід відзначити, що при більшому вмісті вуглецевого наповнювача (понад 20 мас.%) підвищується твердість та знижується повзучість композиту. Це є дуже важливим для деталей, які працюють в умовах високих температур та тисків.

Одночасно, експериментально підтверджено, що введення кожного відсотка вуглецевого наповнювача знижує міцність фторопластових композиційних матеріалів при розтягу на 0,5–0,6 МПа. Результати такого модифікування без застосування спеціальних технологій приводять до отримання матеріалів, які не відрізняються достатньою міцністю. Зрозуміло, що при таких низьких показниках міцності витрати на створення подібних матеріалів можуть виявитися неекономічними, і їхній експлуатаційний ресурс буде значно обмежений.

З цією ціллю, відповідно, була проведена спроба підвищити показники зносостійкості та міцності при розриві високонаповнених композиційних матеріалів на основі політетрафторетилену із вмістом вуглецевого волокна 25–35 мас.%, зберігаючи необхідні показники інших експлуатаційних характеристик.

Описана вище оригінальна технологія механоактивації (МА) була використана для обробки суміші компонентів композиту. Цей процес включав стискання суміші з питомим тиском біля 800 МПа, а потім розпушування ущільненого високонаповненого композиту у змішувачі, частота обертання лопатей якого 3000 хв-1. Крім того, була використана технологія термообробки заготовок з високонаповненого композиту методом його всестороннього стиснення (ВС), при цьому переводячи його у в'язкопластичний стан.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Застосування технології механоактивації компонентів супроводжується наступними ефектами:

– частинки матриці з фторопласту приймають форму, схожу на волокно, що підвищує можливість порошку ВК формувати монолітні блоки під дією холодного пресування;

– частинки композитного матеріалу заряджаються трибостатично, що поліпшує взаємодію наповнювача з матрицею з фторопласту під час подальшого змішування, пресування та термообробки.

Додавання до складу композиції з фторопласту ультрадисперсного політетрафторетилену сприяє активізації процесу гомогенізації за рахунок пластифікації високомолекулярної матриці за допомогою олігомерного модифікатора з аналогічною структурою молекулярного ланцюга.

Використання технології механоактивації дозволяє збільшити міцнісні властивості високонаповнених композитів на 40–50% порівняно з композитами, отриманими за звичайними технологіями.

Використання технології всестороннього стиснення під час термообробки сприяє значному підвищенню показників міцності отриманих виробів.

Ефект зміцнення виникає внаслідок комбінованої дії нормальних та тангенціальних напружень на межі розділу наповнювач – матриця, що виникають в результаті механокрекінгу. Ці напруження сприяють взаємодії макрорадикальних продуктів з активними центрами наповнювача та зменшенню дефектів граничного шару шляхом заповнення полімером мікронерівностей поверхні частинок модифікатора за допомогою механохімічного пластифікування [12]. Синергетичний ефект використання цих технологій виявився у підвищенні технічних характеристик отриманих високонаповнених композитів (ВК) (див. таблицю 3.1).

Поєднання різних технологій, таких як механоактивація та всестороннє стискання, надає можливість додатково підвищити міцнісні характеристики

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

композиційних матеріалів на 20–30%. Це свідчить про активізацію процесів міжфазної взаємодії в композиті та збільшення ступеня монолітизації заготовок.

Використання технологій механоактивації та всестороннього стискання, або їх комбінація, дозволяє знищити негативний вплив факторів, пов'язаних з початковою якістю компонентів та порошкових полімерів. Це призводить до значного покращення економічних характеристик.

Отже, отримані композиційні матеріали мають високі теплофізичні, деформаційні, міцнісні та триботехнічні характеристики, що дозволяє використовувати вироби з них у таких умовах експлуатації, де раніше було неможливо повністю реалізувати переваги фторопластових композиційних матеріалів з вуглецевими наповнювачами. Це особливо актуально для відповідальних вузлів тертя без мастила, які працюють при високих тисках та температурах.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Виконано аналіз застосування ущільнювальних та антифрикційних матеріалів у вузлах тертя автомобілів.

2. Розроблена технологія змішування та подрібнення антифрикційних карбопластиків з метою підвищення їх продуктивності. Встановлено, що застосування ступеневих рухомих ножів з нерухомо закріпленими ножами в камері помолу дозволило збільшити масу завантаження композиції у 3 рази та скоротити термін її приготування у 8,4 рази.

3. Дослідження впливу технології виготовлення і природи матриці на механічні характеристики та зносостійкість антифрикційних карбопластиків показали, що застосування млинка "Ютон" з високою продуктивністю приготування композицій не приводить до суттєвої зміни зносостійкості антифрикційного карбопластика Ф4ВВ20. В результаті ж заміни матеріалу матриці композиції: фторопласт-4ПН на фторопласт-4ЕД, зносостійкість матеріалу Ф4ВВ20 збільшується в 1,8 раз.

4. Аналіз технології фторвмісних композитів з підвищеними деформаційними, міцнісними та триботехнічними характеристиками показав, що поєднання технологій механоактивації і всебічного стиснення, дозволяє додатково збільшити міцнісні характеристики композитів на 20–30 %, що свідчить про активізацію процесів міжфазної взаємодії в композиційному матеріалі та збільшення ступеня монолітизації заготовок.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сиренко Г. А. Антифрикционные карбопластики / Г. А. Сиренко. – Киев : Техника, 1985. – 195 с.
2. Горбацевич Г. Н. Самозмащувальні матеріали в машинобудуванні, хімічній промисловості: минуле, сьогодення, майбутнє / Г. Н. Гобацевич // Нафтохімічний комплекс. – 2010. – № 5. – С. 1–5.
3. Лисенков М. П. Технологічність неметалевих підшипників колінчастого вала двигуна внутрішнього згорання / М. П. Лисенков // Питання матеріалознавства. – 2009. – № 1(57). – С. 181–185.
4. Структурно-технологічна модель процесу виготовлення заспокоювача і натяжного башмака ланцюга газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання / В. П. Свідерський, Г. О. Сіренко, В. С. Яремчук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2019. – №3. – С. 24-32.
5. Порівняльні дослідження вязкопружних та трибологічних характеристик вуглепластиків на основі теплостійких полімерів / В. Є. Юдін, В. М. Светличний, В. В. Кудрявцев та ін. // Питання матеріалознавства. – 2009. – № 1(57). – С. 132–140.
6. Исикава Т. Углеродные волокна. / Т. Исикава. – Хёмэн, 1970. – Т.9. – № 8. – С. 543-560.
7. Конструкційні термопласти як основа для самозмащувальних полімерних композиційних матеріалів антифрикційного призначення / А.А. Кузнецов, Г.К. Семенова, Є. А. Свідченко // Питання матеріалознавства. – 2009. – № 1(57). – С. – 116-126.
8. Будник А.Ф. Неметалеві матеріали в сучасному суспільстві: Навчальний посібник / А.Ф. Будник, В.Б. Юскаєв, О.А. Будник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 222 с.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

9. Визначення характеристик зносостійкості полімерних матеріалів на прикладі поліаміду ПА-6 і композиту Ф4К15М5 / Ю.П. Козирев, Є. Б. Сєдакова // Питання матеріалознавства. – 2009. – № 1(57). – С. – 210-214.

10. Blanchet T.A., Kennedy F.E. Sliding wear mechanism of PTFE and its composites //Wear. — 1992. — V. 153. — P. 229-243.

11. Uchugama G., Tanaka K. Wear laws of polytetrafluoroethylene // Wear. — 1980. – v. 58, № 2. – P. 223-235.

12. Jintang G., Hoghín D. Molecule structure variations in friction of stainless steel /PTFE and its composites //Journal of Appl. Polymer Science. –1988. – V. 36, № 1. – P. 73-85.

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					ДРМТВАТАМ 24.20206.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55