

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технології конструкційних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ О.П. Гапонова
«__» _____ 2020 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема: «Дослідження структури та властивостей композитів на основі політетрафторетилену з різними наповнювачами»

Студент МТ.м-91	_____	Белла О. О.
Керівник	_____	Берладір Х. В.
Консультант з економічної частини	_____	Берладір Х. В.
Консультант з охорони праці	_____	Говорун Т. П.
Нормоконтроль	_____	Дегула А. І.

Суми
2020

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технології конструкційних матеріалів»
Спеціальність 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ О.П. Гапонова
«__» _____ 2020 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Беллі Олександр Олександровичу

1. Тема проекту (роботи) «Дослідження структури та властивостей композитів на основі політетрафторетилену з різними наповнювачами» затверджена наказом по університету від “11” листопада 2020 р. № 1756-П
2. Термін здавання студентом закінченого проекту (роботи) _____
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Полімерний композиційний матеріал, метою є дослідження впливу наповнювачів на структуру та фізико-механічні та триботехнічні властивості матриці композиту із застосуванням стандартних методик проведення експериментальних випробувань.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити):
 - 1) Аналіз літературних джерел за темою роботи.
 - 2) Викладення загальної методики й основних методів досліджень.
 - 3) Експериментальні дослідження та узагальнення результатів.
 - 4) Економічна частина.
 - 5) Охорона праці, довкілля та техніка безпеки.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти по проекту (роботі), із значенням розділів проекту, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Говорун Т.П.		
Економічна частина	Берладір Х.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз літературних джерел за темою роботи	жовтень 2020 р.	
2	Викладення загальної методики й основних методів досліджень	жовтень 2020 р.	
3	Експериментальні дослідження та узагальнення результатів	листопад 2020 р.	
4	Економічна частина	листопад 2020 р.	
5	Охорона праці, довкілля та техніка безпеки	грудень 2020 р.	

7. Дата видачі завдання _____

Студент _____

(підпис)

Керівник проекту _____

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Бєлла Олександр Олександрович. Дослідження структури та властивостей композитів на основі політетрафторетилену з різними наповнювачами. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 132 – Матеріалознавство. – Сумський державний університет, Суми, 2020.

Кваліфікаційна робота присвячена вивченню впливу різних наповнювачів (вуглецеве волокно/каолін) на структурні зміни, що відбуваються в ПТФЕ-матриці під впливом фізичного модифікування, а також як ці зміни в структурі композиту впливають на його триботехнічні характеристики. Встановлено закономірності взаємодії структури і властивостей композиту, визначено оптимальні концентрації запропонованих наповнювачів. В роботі також розглядається та досліджується вплив процесу механічної активації компонентів композиції на структурні та фазові зміни матеріалу, зміну його механічних та триботехнічних характеристик.

Одночасне введення активованого бінарного наповнювача дозволило значно підвищити зносостійкість матеріалу при збереженні високих значень фізико-механічних властивостей. Для кожного виду наповнювачів визначена оптимальна концентрація, що забезпечує утворення більш однорідної структури композита і високих фізико-механічних та триботехнічних властивостей.

Ключові слова: ПОЛІТЕТРАФТОРЕТИЛЕН, КОМПОЗИТ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ, НАПОВНЮВАЧ, ВУГЛЕЦЕВЕ ВОЛОКНО, КАОЛІН, МІЦНІСТЬ ПРИ РОЗРИВІ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

ABSTRACT

Bella O.O. Investigation of the structure and properties of composites based on polytetrafluoroethylene with different fillers. – The manuscript.

Qualifying paper for obtaining the qualification of master's degree in the specialty 132 – Materials science. – Sumy State University, Sumy, 2020.

The qualification work is devoted to the study of the influence of different fillers (carbon fiber/kaolin) on the structural changes occurring in the PTFE matrix under the influence of physical modification, and how these changes in the composite structure affect its tribotechnical characteristics. Regularities of interaction of structure and properties of composite are established; optimum concentrations of the offered fillers are defined. The paper also considers and investigates the influence of the process of mechanical activation of the components of the composition on the structural and phase changes of the material, the change of its mechanical and tribotechnical characteristics.

Simultaneous introduction of the activated binary filler allowed to significantly increase the wear resistance of the material while maintaining high values of physical and mechanical properties. For each type of fillers, the optimal concentration is determined, which ensures the formation of a more homogeneous structure of the composite and high physical-mechanical and tribotechnical properties.

Key words: POLYTETRAFLUOROETHYLENE, COMPOSITE OF TRIBOTECHNICAL PURPOSE, FILLERS, CARBON FIBER, KAOLIN, TENSILE STRENGTH, WEAR RESISTANCE.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра вміщує **78 сторінок**, зокрема **15 рисунків**, **2 таблиці**, **список із 37 використаних джерел на 5 сторінках**.

Мета роботи – дослідження особливостей механізмів структурної організації при модифікації ПТФЕ енергетичними методами впливу та наповнювачами, а також створення на їх основі композитів з поліпшеними експлуатаційними характеристиками.

Завдання досліджень – проведення досліджень впливу наповнювачів на структурний стан і триботехнічні властивості ПТФЕ, а також встановлення залежностей між ними.

Об'єкт дослідження – вплив наповнювачів на структуру та триботехнічні властивості фторопластових композитів.

Предмет дослідження – розроблені композити на основі ПТФЕ, їх структура та властивості.

Методи дослідження – стандартні методи визначення фізико-механічних і триботехнічних властивостей композиту, оптично-електронна мікроскопія для дослідження структури ПТФЕ та композитів на його основі. Обробка результатів експериментів здійснена методами математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів. Встановлено, що основою структурного модифікування ПТФЕ є формування надмолекулярної структури при зміні активності та вмісту наповнювачів, а також механоактиваційного впливу на композити.

Ключові слова: політетрафторетилен, композит триботехнічного призначення, наповнювач, вуглецеве волокно, каолін, міцність при розриві, зносостійкість.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1	14
АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ ...	14
1.1 Основні деталі триботехнічного призначення з ПТФЕ	14
1.2 Особливості наповнення ПКМ для триботехнічного призначення	17
1.3 Особливості поведінки ПТФЕ та композитів на його основі при терті та зношування	21
Висновки.....	27
РОЗДІЛ 2	28
ВИКЛАДЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ МЕТОДИКИ Й ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	28
2.1 Об'єкти дослідження	28
2.2 Технологія виготовлення зразків для досліджень	29
2.3 Методики досліджень	30
2.4 Математична обробка результатів експериментів	35
Висновки.....	41
РОЗДІЛ 3	42
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	42
Висновки.....	54
РОЗДІЛ 4.....	55
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	55
4.1 Особливості визначення економічної ефективності науково-дослідних робіт	55

4.2	Визначення економічної ефективності від впровадження розробленого композитного матеріалу	58
	Висновки.....	61
	РОЗДІЛ 5.....	62
	ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	62
5.1	Основні завдання системи управління охороною праці на хімічних підприємствах	62
5.2	Правил охорони праці під час роботи з полімерними композитними матеріалами.....	63
5.3	Правил охорони праці на підприємствах з виробництва пластмасових виробів	67
5.4	Охорона довкілля	68
	Висновки.....	71
	ВИСНОВКИ.....	72
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ПКМ – полімерний композитний матеріал;

ПТФЕ – політетрафторетилен;

ВВ – вуглецеве волокно (вуглецеві волокна);

КС – каолін марки КС-1;

ρ – густина, кг/м³;

σ_p – міцність при розриві (руйнуюча напруга при руйнуванні), МПа;

δ – відносне подовження при розриві, %;

I – інтенсивність зношування, $\cdot 10^{-6}$ мм³/Н·м;

ВСТУП

Потреба поліпшення техніко-економічних показників виробництва і експлуатації виробів машинобудування, заміна дорогих металів, екологічні проблеми роблять актуальними пошуки нових конструкційних матеріалів при створенні приладів і машин нового покоління.

Все більш широке застосування в якості нових конструкційних матеріалів, в тому числі спеціального призначення, в даний час знаходять композити на основі аморфно-кристалічних лінійних полімерів, таких як політетрафторетилен (ПТФЕ). Він має унікальні антифрикційні властивості, високу хімічну інертність, термо- і холодостійкість. Перевагою цього полімеру є вищі значення їх механічних властивостей у порівнянні з аморфними полімерами. Однак низька зносостійкість і недостатні механічні властивості обмежують можливості його застосування в ненаповненому вигляді. Для ПТФЕ існує можливість ефективного цілеспрямованого регулювання експлуатаційних характеристик шляхом модифікування та технологією одержання.

Специфічні особливості молекулярної і надмолекулярної будови структури ПТФЕ обумовлюють характерні механізми формування міжфазних шарів, які визначають параметри деформаційно-міцнісних і триботехнічних характеристик ПТФЕ-композитів при термобаричній монолітизації дисперсних частинок матричного полімеру і композиційного матеріалу, що містить функціональні наповнювачі різної природи, елементного складу, морфології і дисперсності, які дозволяють позбутися недоліків базової матриці.

Забезпечення оптимального рівня взаємодії матричного полімеру і елементів наповнювача визначає структуру і характеристики граничних шарів композиту. Вони ускладнені специфічною будовою молекулярного ланцюга ПТФЕ, який обумовлює виражену хімічну інертність до більшості

твердофазних компонентів композиції і практично відсутність в'язкотекучого стану, який міг би сприяти змочуванню поверхневого шару частинок наповнювача-модифікатора.

Практична реалізація цього напрямку технології полягає в забезпеченні оптимальної структури міжфазного шару на основі всебічного аналізу особливостей морфології поверхневих шарів частинок модифікаторів, їх енергетичних параметрів впливу на процеси адсорбційної та хемосорбційної взаємодії. Це обумовлює необхідність застосування спеціальних методів активуючого впливу на композицію, перш за все, – механохімічного та енергетичного.

Проведені дослідження ставили за **мету** дослідити особливості механізмів структурної організації при модифікації ПТФЕ енергетичними методами впливу та наповнювачами, а також створення на їх основі композитів з поліпшеними експлуатаційними характеристиками.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні **задачі**:

- провести дослідження надмолекулярної структури ПТФЕ-композитів та аналіз змін структурно-фазового стану в залежності від складу і властивостей компонентів-наповнювачів;
- виконати комплексні дослідження властивостей полімерних композитних матеріалів (ПКМ) на основі ПТФЕ в широкому діапазоні концентрацій наповнювачів та виявити закономірності їх зміни, викликані структурною перебудовою матриці композитів і модифікуючими факторами технології компонентів-наповнювачів;
- на базі узагальнення отриманих в ході досліджень результатів отримати антифрикційний композитний матеріал на основі ПТФЕ з високими фізико-механічними властивостями для роботи в умовах інтенсивного зношування.

Об'єкт дослідження – вплив наповнювачів на структуру та триботехнічні властивості фторопластових композитів.

Предмет дослідження – розроблені композити на основі ПТФЕ, їх структура та властивості.

Методи дослідження – стандартні методи визначення фізико-механічних і триботехнічних властивостей композиту, оптично-електронна мікроскопія для дослідження структури ПТФЕ та композитів на його основі. Обробка результатів експериментів здійснена методами математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному:

- встановлено, що основою структурного модифікування ПТФЕ є формування надмолекулярної структури при зміні активності та вмісту наповнювачів, а також механоактиваційного впливу на композити;
- виявлено модифікуючу дію каоліну при додаванні до композиту «ПТФЕ – ВВ» та обґрунтовано вибір оптимального співвідношення компонентів даної суміші.

Практичне значення отриманих результатів.

Виявлені загальні закономірності і розроблені методи регулювання властивостей композиційних матеріалів дозволили сформулювати об'єктивні дані для промислового виробництва і застосування композиційних матеріалів.

Розроблена технологія одержання композиційних матеріалів, що дозволяє реалізувати переваги комплексного наповнення політетрафторетилену волокнами і каоліном.

Визначено оптимальний склад ПТФЕ - композиту з антифрикційними властивостями і високим рівнем фізико-механічних властивостей.

Особистий внесок. Автору належить аналіз літературних джерел, постановка завдань дослідження та визначення мети, виготовлення зразків, проведення під керівництвом керівника досліджень структури і властивостей розроблених композитів, оформлення тексту роботи.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 78 сторінок, у тому числі 15 рисунків, 2 таблиці, список із 37 використаних джерел на 5 сторінках.

СВАМІД

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1.1 Основні деталі триботехнічного призначення з ПТФЕ.

Вироби з фторопластових композицій призначені для роботи в агресивних середовищах при температурі від -60 до $+ 260$ °С, в умовах високого вакууму і тиску до 10 МПа [1-5].

З композицій виготовляються [6]:

- поршневі кільця і ущільнення штока в компресорах і гідравлічних циліндрах;
- сальникові ущільнення, плетені ущільнення для герметизації рухливих з'єднань машин і арматури;
- осьові підшипники;
- вкладиші для підшипників;
- торцеві ущільнення, манжети, шайби, прокладки та інші деталі для ремонту обладнання.

Серійно випускаються в якості ущільнень з ПТФЕ і композицій на його основі манжети, опорні і натискні кільця, які можуть застосовуватися в ущільнювальному вузлі гідроциліндра насосів типу НД. Використання ущільнень з фторопластів в компресорних установках дозволяє знижувати рівень шуму компресорів на 5-10%.

Манжети представляють собою ущільнення односторонньої дії, виготовлені з модифікованого ПТФЕ, і включають в себе пружину із корозійностійкого сплаву (рис. 1.1) [7].

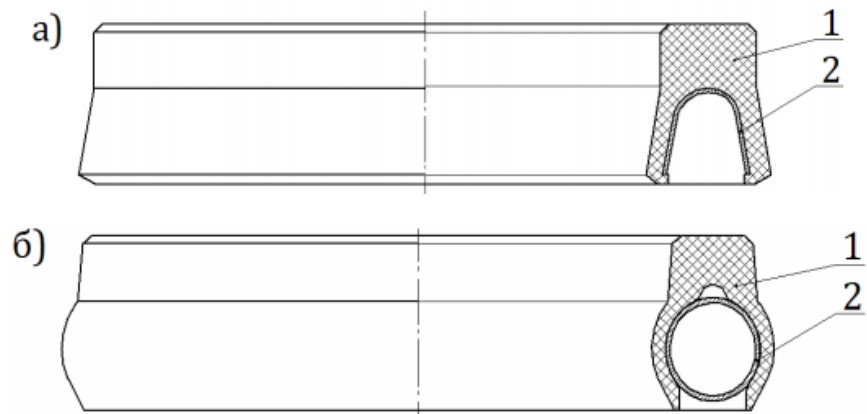


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд манжети: а – з пластинчастою пружиною, б - зі спіральною пружиною, 1 – оболонка манжети, 2 – пружина [7].

Принцип роботи такого ущільнення полягає в тому, що пружина забезпечує навантаження, необхідне для ущільнення при низькому тиску в системі. Внутрішній профіль ущільнення дозволяє створити додаткове зусилля притиску робочих краєнок до ущільнюваної поверхні через дії робочого середовища в системі (рис. 1.2, 1.3).

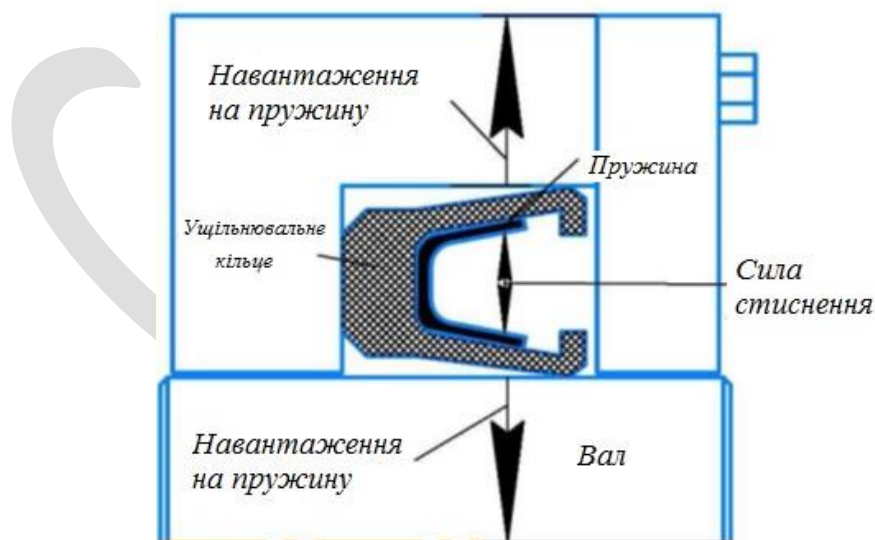


Рисунок 1.2 - Принцип дії ущільнення [8].



Рисунок 1.3 – 3D CAD модель ущільнювального кільця [8].

Манжети можуть бути застосовані як для ущільнення циліндричних поверхонь (штоків, валів і поршнів) так і для ущільнення плоских поверхонь (фланців і кришок).

Переваги такого ущільнення: широкий температурний діапазон застосування (від -200 до $+250$ °C), широкий діапазон робочих середовищ, можливість роботи при сухому терті (без змащення), тривалий час зберігання і експлуатація (постійна еластичність, не старіє і не всідається), висока швидкість ковзання (до 15 м/с), можливість застосування на високому тиску (до 20 МПа, а при використанні спеціальних матеріалів і до 40 МПа).

Ефективність застосування поршневих кілець і сальникових ущільнень із композитів «ПТФЕ – ВВ» в поршневих компресорах полягає в повній відмові від змазування у вузлах тертя, зменшенні коефіцієнта тертя і, як результат, витрати електроенергії, зменшенні технологічних витрат на осушку, очистку транспортованого газу, підвищенні чистоти кінцевого продукту, можливості застосування компресорної техніки в медичній і харчовій промисловості, спеціальних галузях. В таких умовах ПТФЕ ПКМ дуже часто визначають ресурс роботи і довговічність компресора. Розробка і

вибір матеріалів для деталей вузлів тертя є однією з найбільш відповідальних завдань сучасного компресоробудування [9-12].

1.2 Особливості наповнення ПКМ для триботехнічного призначення.

Робота [13] присвячена дослідженню властивостей ПКМ на основі поліетилену надвисокої молекулярної маси (ПНММ) та політетрафторетилену (ПТФЕ), модифікованих вуглецевими волокнами. Встановлено, що збільшення концентрації ВВ супроводжується зменшенням напружено-деформованих властивостей композитів на основі ПТФЕ, а також зміною поведінки кривих деформацій розтягування. Показано, що зниження напружено-деформованих властивостей і зміна режиму руйнування композитів на основі ПТФЕ, що містять ВВ марки LO-1-12N/40, відбуваються при концентрації 5 мас.% і при введенні волокна марки Velum, необхідна концентрація 10 мас.%. Ймовірно, це пов'язано з різними значеннями вмісту критичного об'єму наповнювача в ПТФЕ-матриці. Було виявлено, що міцність збільшується на 80% при 5% стисненні ПКМ, і вона подвоюється при 10% стиснення в порівнянні з ненаповненим фторполімером. Швидкість масового зносу матеріалів на основі ПТФЕ, що містить дискретні вуглецеві волокна, зменшується із збільшенням концентрації наповнювача. Також у статті висвітлено перспективи використання ВВ як армуючого елемента для матриці з ПНММ з метою отримання нових композитів з високими триботехнічними характеристиками. Такі матеріали призначені для експлуатації в умовах обмеженого змащення або сухого тертя. Експериментально підтверджено, що для поліпшення напружено-деформованих властивостей та зносостійкості ПКМ на основі ПНММ необхідно використовувати ВВ марки Velum як наповнювач, оскільки міжфазна взаємодія ПНММ з волокном є сильною завдяки

гідрофобному фтороорганічному покриття на поверхні цих волокнистих наповнювачів.

Вивчено вплив комплексного наповнювача, що містить вуглецеві нанотрубки, полідисперсний прихованокристалічний графіт і дисульфід молібдену, на механічні та триботехнічні властивості розробленого нанокompозиту з ПТФЕ [14]. Показано, що найбільш ефективним є комплексний наповнювач, що містить полідисперсний порошок прихованокристалічного графіту і вуглецеві нанотрубки [15], які забезпечують найбільшу зносостійкість ПКМ. Запропоновано і відпрацьовано спосіб підвищення ефективності структурної модифікації ПТФЕ шляхом спікання матеріалу в умовах об'ємного обмеження теплового розширення, що призводить до посилення контактної взаємодії та адгезійних зв'язків полімерної матриці з наповнювачем, що забезпечує значне підвищення показників механічних і триботехнічних властивостей [16].

Автори в роботі [17] вивчали вплив дисперсності полімерного наповнювача (ПТФЕ) на структуру та властивості композиційних матеріалів на основі ПНММ. Знайдено, що дисперсність наповнювачів сильно впливає на структуру та властивості ультрависокомолекулярних композитів ПНММ-ПТФЕ: при додаванні ПТФЕ з дрібними частинками (~ 14 мкм) структура композитів більше однорідна, а механічні властивості знижуються менше, ніж у разі додавання наповнювача з більшими розмірами (~ 100 – 180 мкм); зносостійкість композитів з дрібнішими наповнювачами в 2 рази вища, ніж композитів з більшими наповнювачами, і в 3,5 рази вища, ніж у чистого ПНММ. Найкраща вагова частка ПТФЕ становить 10 мас. %.

У роботі [18] продемонстровано порівняльний аналіз експлуатаційних властивостей композитів на основі ароматичного поліаміду, наповненого промисловим та синтезованим силікагелем. Встановлено, що силікагель має найкращий підсилюючий ефект на полімерну матрицю серед найбільш поширених діоксидів кремнію, що випускаються промисловістю. Він не

створює агломератів, які сприяють розшаруванню матеріалів при високих навантаженнях, таких як діоксид кремнію марок аеросил та біла сажа. Це є наслідком того, що домішки, які присутні у промисловому силікагелі, зменшують його підсилюючий ефект на полімерну матрицю та негативно впливають на процес тертя при фрикційній взаємодії отриманого ПКМ із сталлю.

У статті [19] представлені результати дослідження ПКМ на основі ПТФЕ, наповненого ВВ та ультрадисперсним політетрафторетиленом (УПТФЕ). Одночасне введення вуглецевих волокон та УПТФЕ у полімер змушує деформаційно-міцнісні характеристики залишатися на рівні характеристик полімерної матриці незалежно від вмісту ВВ. Збільшений вміст волокнистого наповнювача в ультрадисперсному ПТФЕ збільшує напруження під час стиснення та зменшує щільність ПКМ. Зносостійкість зростає до 310 разів, а коефіцієнт тертя полімерних композитів зменшується на 17–19% порівняно з початковим полімером. Методом рентгенографічного аналізу та скануючої електронної мікроскопії встановлено, що введення наповнювачів у ПТФЕ змінює надмолекулярну структуру, що супроводжується підвищеним ступенем кристалічності. Зроблено висновок, що розроблені матеріали з бінарним наповнювачем перспективні для використання в вузлах тертя машин та обладнання.

Автори [20] провели комплексні дослідження характеристик формування гетерофазної структури в композитних матеріалах на основі ПТФЕ, що містять наповнювачі та модифікатори різного складу та геометричної форми у концентраціях 20-35 мас.%. Визначено напрями вдосконалення технологічного процесу виготовлення виробів із підвищеними параметрами міцності та трибологічних характеристик, що полягають у контролі структурних композитів на різних рівнях. Встановлено режим модифікуючої дії продуктів термогасдинамічного синтезу ПТФЕ в композиті. Як результат досліджень була розроблена технологія модифікації вуглецевих

волокон надтонкими частинками продуктів термогасдинамічного синтезу (УПТФЕ) для композитів на основі ПТФЕ, яка забезпечує підвищення зносостійкості в 1,1-1,2 рази і міцності в 1,1-1,35 разів при формуванні виробів холодним пресуванням з подальшою агломерацією.

У статті [21] описуються результати, отримані при вивченні властивостей ПТФЕ, модифікованого природними шаруватими силікатами – серпентинітом. Показано, що введення невеликої кількості шаруватих силікатів значно підвищує триботехнічні характеристики матеріалу. Отримані матеріали з низьким вмістом наповнювача (2-5 мас.%) мають істотно покращені властивості комплексу порівняно з комерційними композитами. Ефективність застосування комплексної модифікації трибологічних матеріалів з ПТФЕ показала, що одночасне введення серпентиніту і наношпінелі магнію в якості наповнювача з ПТФЕ значно покращило зносостійкість матеріалу (до 2500 разів), зберігаючи при цьому високі значення міцнісних характеристик. Показано, що додавання наношпінелі магнію сприяло утворенню відшарованих та інтеркальованих полімер-силікатних наноструктур.

Композити з політетрафторетилену, як правило, застосовується для динамічних ущільнень в енергетичних системах Стерлінга завдяки його чудовому самозмащуванню та стійкості. Авторами [22] досліджено трибологічну поведінку сумішей поліфеніленсульфіду (ПФС)-ПТФЕ, наповнених нано- Al_2O_3 , при різних контактних навантаженнях, швидкості ковзання та робочих температурах за допомогою випробування на тертя та знос. Результати вказують на те, що додавання нано- Al_2O_3 може суттєво покращити протизносні характеристики суміші ПФС-ПТФЕ. Показано, що такі полімери, наповнені нано- Al_2O_3 , мають гарні трибологічні показники в умовах високої температури: при вмісті нано- Al_2O_3 5 мас.%, швидкість зносу композиту в 276 разів краща, ніж у чистому ПТФЕ і більш ніж у 150 разів, ніж у ненаповненому ПФС-ПТФЕ. Динамічний механічний аналіз виявив, що

блок руху молекулярних ланцюгів ПТФЕ з додаванням частинок нано- Al_2O_3 може бути відповідальним за значне зменшення швидкості зносу. Найбільший вплив на зносостійкість композиту для двигунів Стерлінга має навантаження з подальшою температурою, а мінімальний ефект обумовлений швидкістю ковзання.

1.3 Особливості поведінки ПТФЕ та композитів на його основі при терті та зношування.

Трибологія полімерів, включаючи поняття механізму тертя та зносу, є більш складною і менш зрозумілою, ніж для металів. Хоча встановлені основні закономірності механізму тертя контактів металу та кераміки у відносному русі, пари «полімер – метал» зазвичай не відповідають цим законам. Причин цьому декілька, включаючи відносну м'якість полімерів порівняно з металами, їх значно нижчу теплопровідність, пов'язану з утворенням тепла в контактах, а також значно нижчі температури плавлення. Якщо ці механізми не будуть вивчені, тоді застосування полімерів для кочення, ковзання або несучих деталей буде «проблематичним». Діапазон доступних полімерів, придатних для різних робочих умов міцності, діапазону робочих температур, стійкості до руйнування навколишнього середовища, тертя ковзання та зносу, є величезним. Такі полімери можна схематично розташувати у піраміді на основі їх фізичних властивостей, діапазонів робочих температур та вартості [23].

Трибологічну поведінку полімерних матеріалів можна покращити за рахунок меншої адгезії та вищої жорсткості та міцності. Цього можна досягти, використовуючи спеціальні наповнювачі: для зменшення адгезії, наприклад, часто додають шаруваті мастила, такі як ПТФЕ або графіт. Вони також дозволяють утворювати переносну плівку, що зменшує тертя, на поверхні відповідного матеріалу. Для збільшення жорсткості та міцності

полімерної системи використовуються суцільні або короткі арамідні, вуглецеві або скляні волокна. Крім того, трибологічні властивості полімерів та композитів на їх основі можуть бути змінені за допомогою використання інших теплопровідних наповнювачів, включаючи нанорозмірні частинки або вуглецеві нанотрубки.

На підставі комплексних досліджень [24-27] встановлено, що основним фактором, що відповідає за прояв структурного парадоксу в традиційних технологіях фторидних композитів, що полягає у пропорційному зменшенні значень параметрів міцності та трибологічних характеристик із збільшенням ступеня наповнення армуючого наповнювача, є невідповідність між геометричними, розмірними та трибологічними параметрами частинок матриці (ПТФЕ) та наповнювача, що призводить до утворення кластерних структур при підготовці композиту, що є передумовою для формування макродефектів на стадіях холодного пресування та подальшого спікання продукції (заготовки).

Системний аналіз впливу структури композитів на механізми деформування, руйнування і зношування виробів з них в різних умовах експлуатації дозволив виявити основні фактори, що впливають на прояв структурного парадоксу при реалізації традиційних технологій їх виготовлення на молекулярному, надмолекулярному, фазовому і міжфазному рівнях (рис. 1.4).

На фазовому рівні утворення недосконалої структури фторкомпозиту обумовлено формуванням в процесі змішування з частинок матричного полімеру і наповнювача, що мають різну форму, масу та електрофізичні характеристики (рис. 1.5, а, б), агломератів кластерного типу (рис. 1.5, в), що обумовлюють виникнення мікродефектів в зразку після холодного пресування, що зберігаються після спікання внаслідок міжчастинкового тертя, стеричних і реологічних перешкод для заповнення порожнин кластерів зв'язуючим (рис. 1.5, г).



Рисунок 1.4 - Основні фактори, що впливають на вираження структурного парадоксу у формуванні фторокомпозитів відповідно до технологічної парадигми [24].

Сукупний аналіз вищенаведених основних чинників, що призводять до прояву негативного ефекту зниження параметрів деформаційно-міцнісних і триботехнічних характеристик фторкомпозитів при збільшенні вмісту наповнювача, свідчить про переважну роль параметрів, обумовлених особливостями технології отримання матричного матеріалу і армуючого наповнювача, які посилюють негативний вплив характерної хімічної будови основних компонентів на процеси формування оптимальної структури на різних рівнях організації при використанні традиційних технологічних прийомів. Тому для забезпечення підвищення значення параметрів міцності і зносостійкості композитів з вмістом наповнювача більше 20% мас. необхідно змінити традиційні підходи технологічної парадигми виходячи з

особливостей складу, будови і геометричних параметрів основних компонентів. Сутність цих змін полягає в наступному:

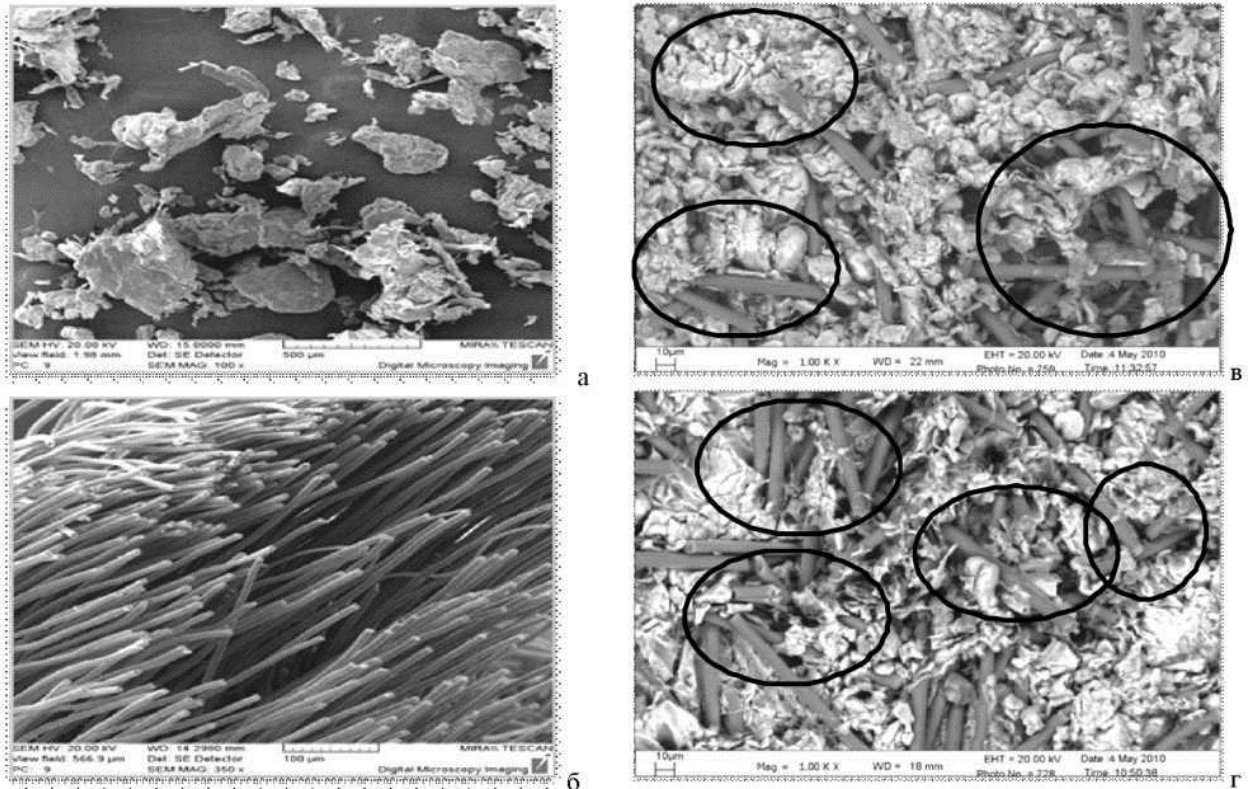


Рисунок 1.5 - Характерний вид частинок матричного ПТФЕ (а), вуглецевих волокон (б) і кластерних структур в композиції ПТФЕ + 20% мас. ВВ після змішування компонентів (в) і в виробі, сформованому за традиційною технологією (г). Кластери виділені колами [24].

- необхідно застосовувати технології суміщення компонентів матеріалу, що забезпечують руйнування кластерних структур, утворених частками ПТФЕ і ВВ в процесі змішування;

- характерна морфологія частинок матричного ПТФЕ (рис. 1.5, а) обумовлює можливість використання в якості цільових модифікаторів компонентів з високою термодинамічною сумісністю, які підвищують пластичність матриці при холодному пресуванні і монолітизації завдяки ефекту пластифікування. Ефективним модифікатором цього типу є продукти

термогазодинамічного синтезу політетрафторетилену (УПТФЕ), що містять олігомерні і полімерні фракції з близькою до ПТФЕ молекулярною будовою;

- заповнення порожнин кластерних структур, утворених частками ПТФЕ і ВВ в процесі змішування можливо шляхом використання високодисперсних частинок УПТФЕ на стадії попереднього модифікування стрічкового напівфабрикату ВВ;

- кластерна будова композиційного матеріалу на стадії змішування компонентів дозволяє реалізувати принцип його багаторівневого модифікування компонентами нанорозмірних і мікрометричних фракції з різною формою частинок (технічний вуглець, УПТФЕ, ВВ);

- при використанні в якості багатофункціонального модифікатора ПТФЕ диспергованого вуглецевого волокна роль морфологічного фактора, який зумовлює утворення градієнта концентрації компонентів гетерогенної системи «ПТФЕ – ВВ», превалює над роллю інтенсивності адсорбційної взаємодії на межі розділу «матриця – модифікатор». Необхідно застосування технологічних прийомів, що сприяють зменшенню ймовірності утворення кластерних структур модифікатора в композиті на стадіях підготовки, поєднання, пресування і монолітизації.

На підставі вищенаведеного розроблені ефективні технологічні прийоми формування малodefектної структури фторвмісних композитів з вмістом наповнювача 25-35% мас., які відносяться до класу високонаповнених (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Технологічні методи утворення високонаповнених фторкомпозитів

Технологія суміщення компонентів, яка забезпечує зменшення кількості кластерних утворень	→	Трибостатична обробка напівфабрикату ВВ модифікатором
Підвищення пластичності матриці	→	Сумісна механоактивація компонентів
Заповнення порожнин кластерних структур ПТФЕ і ВВ	→	Технологія спікання в замкнутих формах
Реалізація принципу багаторівневого модифікування	→	Технологія холодної монолітизації заготовок пластичною деформацією
Руйнування кластерних утворень під час монолітизації та обробки	→	Модифікування матриці компонентами багаторівневої дії

Висновки

Аналіз літературних джерел за темою досліджень дозволяє встановити, що оптимальний вибір типу і кількості наповнювачів, а також форми та розміри їх частинок є однією з головних проблем при створенні нових композицій на основі ПТФЕ. Якщо правильно підібрати тип і кількість наповнювачів, то це призведе до підвищення характеристик композиту, в тому числі триботехнічних.

Дослідження різних авторів показують, що модифікування аморфно-кристалічних полімерів шляхом наповнення призводить до змін у характері і морфології надмолекулярної структури, що є однією з основних причин трансформації властивостей композиту.

Складність фізичної структури аморфно-кристалічних полімерів, багатофакторна залежність структурно-фазових перетворень, як від вмісту компонент-наповнювачів, так і їх характеристик, відсутність експериментальних даних вимагає проведення комплексних досліджень структури і властивостей даного класу триботехнічних матеріалів і технології їх виготовлення.

Композити на основі ВВ можуть бути незамінними для використання в якості ущільнюючих елементів енергетичних машин та обладнання самозмащувальних підшипників, сальників, а також вкладишів опорних підшипників.

При використанні термостійкої полімерної матриці, наприклад ПТФЕ, композити можна застосовувати для виготовлення підшипників, що працюють при підвищених температурах, поршневих і опорних кілець компресорів, мембран клапанів та інших елементів пар тертя.

РОЗДІЛ 2

ВИКЛАДЕННЯ ЗАГАЛЬНОЇ МЕТОДИКИ Й ОСНОВНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Об'єкти дослідження.

Для виготовлення композицій використовували ПТФЕ марки ПН, промислово виготовленому на ПО «Уральский химический завод» (ПО «Галоген», м. Перм, Росія) по ГОСТ 10007. Середні розміри частинок порошку - 50-500 мкм, коефіцієнт теплопровідності - 0,25 Вт/м·К, молекулярна маса - 100-500 тис., міцність при стиску - 11,8 МПа, ступінь кристалічності до спікання - 95-98 %, модуль пружності при стиску - 686,5 МПа, ступінь кристалічності після спікання - 50-70 %, міцність при розтягуванні незагартованого зразка - 25,0 МПа, щільність - 2150-2260 кг/м³, модуль пружності при розтягуванні - 410,0 МПа, температура плавлення кристалітів - 330±10 °С, відносне подовження при розриві незагартованого зразка - 350 %, температура склування аморфних ділянок - 120±10 °С, вологопоглинання (24 год.) - 0,00 %. Матеріал володіє аномально низьким коефіцієнтом тертя (0,01-0,04).

У роботі досліджували карбонізовані вуглецеві волокна, які піддаються меншому руйнуванню в процесі отримання та переробки наповненого ПТФЕ. Волокна були отримані з гідратцелюлозної тканини із застосуванням суміші антипіренів $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O} + (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$. Оброблену антипіренами гідратцелюлозну тканину термообробляли в природному газі CH_4 при 723 ± 20 К шляхом протягування через методичну піч зі швидкістю 10 м/год. У підсумку отримували частково карбонізовану тканину УТ-4 з наступними характеристиками: розривне навантаження (5 см смужки) тканини 100-160 Н/см (по основі) і 15-30 Н/см (по утку), вміст вуглецю 60-70

%, бору 0,2 %, фосфору 0,5 %, золи 1,5 %; міцність волокна 3-4 ГПа, відносне подовження при розриві 4,6-6,5 %, діаметр волокна 11-14 мкм, коефіцієнт теплопровідності 0,08-0,09 Вт/(м·К). Подальшим відпалом тканини УТ-4 в атмосфері CH_4 при 1123 ± 50 К отримували карбонізовану тканину УТМ-8 з наступними характеристиками: розривне навантаження тканини 70-240 Н/см (по основі) і 20-100 Н/см (по утку), зміст вуглецю 60-70 %, водню 1,1-4,5 %, кисню 3,5-4,5 %, сполук бору 3,0-3,6 %, сполук фосфору 3,0-3,6 %, золи 21-26 % (за мінімальним вмістом Н і О елементний склад відповідав формулі $\text{C}_{36}\text{H}_5\text{O}$), міцність волокна при розриві 0,52-0,60 ГПа, модуль пружності волокна 24-47 ГПа, діаметр волокна 10-12 мкм, коефіцієнт теплопровідності 0,08- 0,12 Вт/(м·К).

Як дисперсну фазу при бінарному наповненні використовували каолін марки КС-1 Просянського родовища (Дніпропетровська обл.). Просянські каоліни типу КС-1 за вмістом 49,8-56,2 мас. % тонкодисперсних частинок фракцій $< 0,001$ мм відносяться до групи середньодисперсних, а за загальним вмістом 88,1-89,6 мас. % частинок фракцій $< 0,01$ мм – до високодисперсних [28].

2.2 Технологія виготовлення зразків для досліджень.

Попереднє подрібнення вихідних вуглецевих волокнистих матеріалів з вуглецевої тканини УТМ-8 проводилось в молотковій дробарці КДУ – 2.0 при 3000 хв^{-1} . робочих органів, а остаточне – у подовому подрібнювачі при числі обертів ножів-подрібнювачів 7000 хв^{-1} .

Порошок ПТФЕ готували шляхом механічної активації в сухому стані у високообертovому млині МРП-1М при числі обертів робочих органів млина $n = 9000 \text{ хв}^{-1}$ протягом $\tau = 5$ хв. [29].

Механічна активація наповнювачів проводилася у високообертovому млині МРП-1М за наступними режимами: 1) для волокнистих наповнювачів

– при числі обертів робочих органів $n=7000 \text{ хв}^{-1}$ протягом 9 хв.; 2) для дисперсних наповнювачів - при числі обертів робочих органів $n=7000 \text{ хв}^{-1}$ протягом 5 хв.

Змішування інгредієнтів композицій, спираючись на досвід попередніх досліджень [30], проводили за двостадійним режимом: 1) механічна активація матричного ПТФЕ; 2) механічна активація наповнювача за вибраним режимом; 3) введення активованого ПТФЕ до активованого наповнювача (1:1 по масі) і спільне змішування ($n = 7000 \text{ хв}^{-1}$, $\tau = 5 \text{ хв.}$); 4) введення решти рецептурної кількості активованого ПТФЕ і спільне змішування ($n = 7000 \text{ хв}^{-1}$, $\tau = 5 \text{ хв.}$).

Зразки матеріалів для випробувань отримували за технологією холодного пресування композиції (тиск пресування $P_{\text{пр}} = (50,0-70,0) \text{ МПа}$) з наступним вільним спіканням таблетованих заготовок на повітрі при $365 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ зі швидкістю нагріву – охолодження $40 \text{ }^\circ\text{C}/\text{год}$.

Дослідні зразки для механічних випробувань являли собою втулки з діаметрами: зовнішній $50 \pm 0,1 \text{ мм.}$, внутрішній $40 \pm 0,1 \text{ мм.}$ Ця втулка розрізалася на токарному станку ІА62 на кільця висотою $10 \pm 0,1 \text{ мм.}$, які і піддавалися випробуванням за стандартною методикою по ГОСТ 11262.

Експериментальні зразки для визначення інтенсивності зношування виготовлялися слюсарним способом (вручну) з втулки діаметрами: зовнішній $80 \pm 0,5 \text{ мм.}$, внутрішній $60 \pm 0,5 \text{ мм.}$, висотою $9 \pm 0,1 \text{ мм}$ і являли собою секторну часткову вставку.

2.3 Методики досліджень.

Методика дослідження властивостей композиту та його складових включала визначення густини ρ ($\text{кг}/\text{м}^3$), міцності при розриванні σ_r (МПа), відносного подовження δ (%) стандартними методами, оптичні та електронно-мікроскопічні дослідження дисперсного та ВВ наповнювача і

фторопластового композиту, триботехнічні дослідження одержуваних композитів.

Дослідження впливу технології підготовки ПТФЕ, ВВ та дисперсного наповнювача композиту на його міцність та відносне подовження при розриві проводили на кільцевих зразках (рис. 2.1) діаметрами $\varnothing 50 \times \varnothing 40$ і висотою 10 мм за допомогою жорстких напівдисків (ГОСТ 11262) на розривній установці Р-1 (ГОСТ 4651) при швидкості руху повзуна 0,25 см/хв. При цьому ж випробуванні визначали і відносне подовження при розриві δ .

Міцність при розриві (σ_p) в МПа (кгс/см^2) обчислювали за формулою

$$\sigma_p = \frac{P}{2hh_1} = \frac{P}{2S'} \quad (2.1)$$

де P - розривне зусилля, Н (кгс);

h - радіальна товщина стінки кільцевого зразка, м (см);

h_1 - осьова висота кільцевого зразка, м (см);

S - мінімальний переріз кільцевого зразка, м (см).

Відносне подовження (δ) в% обчислюють за формулою

$$\delta = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100 \%, \quad (2.2)$$

де Δl - зміна розрахункової довжини зразка в момент розриву, мм;

l_0 - початкова розрахункова довжина зразка, мм.

За результат випробування приймають середнє арифметичне трьох визначень, розбіжність між найбільш відрізняються значеннями яких не повинно перевищувати допустиме розходження, рівне 15% при визначенні міцності і 30% при визначенні відносного подовження при розриві, від обчисленого середнього арифметичного значення.

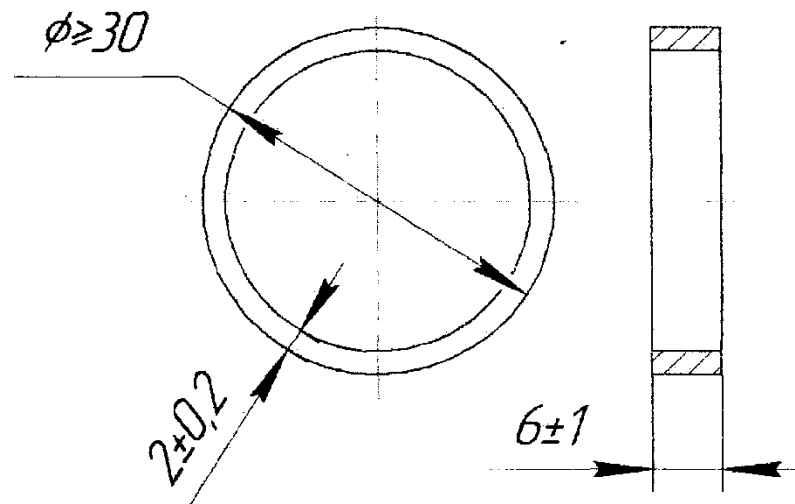


Рисунок 2.1 - Зразок для випробувань при визначенні міцності і відносного подовження

Температуру технологічних процесів визначали за допомогою термопари з реєструючим приладом та термометрів спеціального призначення.

Зразки після пресування і термообробки витримували при температурі 23-25 °С 15 діб, а потім впродовж 24 годин їх кондиціонували (ГОСТ 10681) при 23 ± 1 °С і відносній вологості 65 ± 2 %

За цих же метеорологічних умов проводили дослідження.

Щільність матеріалів оцінювали методом гідростатичного зважування (ГОСТ 15139) в дистильованій воді з використанням аналітичних вагів ВЛР-200. Суть методу полягає в порівнянні мас однакових об'ємів досліджуваної речовини і рідини відомої густини (дистильованої води), шляхом двократного зважування – спочатку на повітрі, а потім у воді. Точність вимірювання густини складає до 0,1 %. Зважування проводили при кімнатній температурі на вагах ВЛА–200–М з точністю до 2 мг.

Вивчення надмолекулярної структури та структури композитів до і після тертя проводили за допомогою скануючого електронного мікроскопа високого дозволу TESCAN MIRA 3 LMU.

Дослідження інтенсивності зношування ПТФЕ вуглецеволокнистих композитів та визначення впливу технологічних параметрів їх одержання на зносостійкість проводили на серійній машині тертя СМТ-1 за схемою «часткова вставка-вал» та на машині тертя УТМ-1 за схемою «диск-палець» для контрольного порівняння.

Випробування за схемою «часткова вставка - вал» проводилися в режимі тертя без зовнішнього змащування. Контртілом був ролик \varnothing 48 мм зі сталі 45 (HRC 25, Ra – 0,30 мкм). Часткова вставка виготовлялась з ПТФЕ композиту і являла собою сектор шириною 16 мм з кільця \varnothing 80 на \varnothing 60 мм і висотою 9 мм. Величину зносу зразків визначали гравіметрично на аналітичних вагах з точністю до 10^{-5} грам та перерахували на інтенсивність зношування за відомими методиками.

Інтенсивність зношування (I) $\text{мм}^3 / (\text{Н} \cdot \text{м})$ обчислюють за формулою:

$$I = \frac{V}{P \cdot S}, \quad (2.3)$$

де V - об'єм зношеного матеріалу, мм^3 ;

P - нормальна навантаження, Н;

S - шлях тертя, м.

Результат випробування обчислюють з точністю до четвертого знака після коми.

Питоме навантаження та відносна лінійна швидкість пари тертя вибрана такою, що відповідає реальним в парі тертя «поршневе кільце - циліндр» в компресорі (тиск P=14,0 МПа, лінійна швидкість 2,0 м/с)

Час випробувань (шлях тертя) вибирали таким чином, щоб результат вимірювань зносу перевищував похибку вимірювання в 10 -15 разів.

Основна серія випробувань зразків композитного матеріалу на зношування проведена на машині тертя СМТ-1.

Машина тертя СМТ-1 належить до типу машин тертя, що дозволяють реалізувати схему випробування «часткова вставка-вал».

Технічна характеристика машини тертя СМТ-1

1. Тип навантаження зразка – важільний, зі змінним навантаженням.
2. Частота обертання приводу 1000 об/хв.
3. Діаметр контртіла $48 \pm 0,01$ мм
4. Межі відносної похибки частоти обертання, що допускається, $\pm 5\%$.
5. Споживана потужність – не більше 5 кВт.
6. Маса установки 400 кг

Загальний вигляд машини тертя приведений на рис. 2.2.

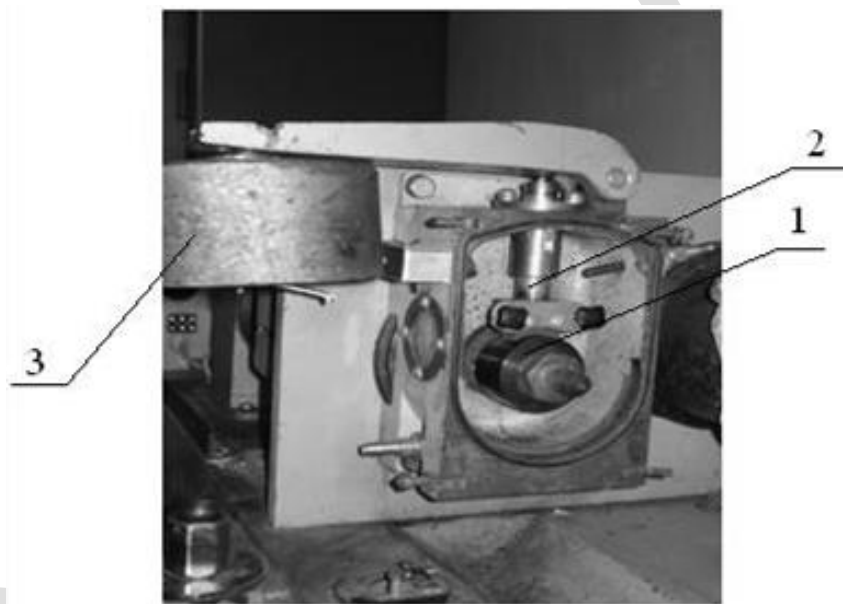


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд вузла тертя машини СМТ-1.

Навантаження на зразки 1 створюється через шток 2 за допомогою торованого вантажу 3. У процесі випробувань шток переміщується, компенсуючи знос зразків.

Випробуванням піддавався зразок у формі часткової вставки (довжина $28 \pm 0,5$ мм, ширина $16 \pm 0,5$ мм, висота $9 \pm 0,5$ мм, радіус 30 мм.).

В якості контртіла для випробувань застосовувалася втулка діаметром $48 \pm 0,01$ мм із сталі 45 ($R_a - 0,30$ мкм, твердість – HRC 25).

Лінійна швидкість ковзання зразка – 2,0 м/с.

Нормальне навантаження на зразок - 140 кг/см^2 .

Температура поверхні контртіла із сталі $45-50 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

Шлях тертя прироблення - 3 км.

Шлях тертя випробування - 20 км.

Прироблення і випробування для кожного із зразків матеріалу проводилося по одному сліду.

2.4 Математична обробка результатів експериментів.

Експериментальні дослідження, які можуть бути проведені на стенді, дозволяють визначити параметри математичної моделі процесу та оптимізувати їх. Застосовувались методи регресивного аналізу.

Загальна методика проведення дослідження з виявлення впливу технологічних параметрів технологічного обладнання на якість ПТФЕ композиту складається із восьми етапів.

Етап 1. **Постановка задачі** зводиться звичайно до встановлення математичних зв'язків між вхідними факторами, що впливають на перебігання процесу, і вихідними параметрами, що характеризують його властивості (якість). Фактори є незалежними і можуть мати довільні значення x_i на технологічно можливих інтервалах, а параметри – залежними, тому що їх значення y_i визначаються властивостями процесу і зміною незалежних змінних.

Етап 2. **Вибір виду моделі і плану експерименту.** Експериментальне визначення якої-небудь невідомої закономірності $y = \varphi(x_i)$ дає результати спостережень у вигляді таблиці відповідних значень x_i і y_i . За цими значеннями можна визначити залежності y від x та наближено представити деякою математичною формулою $y = f(x_i)$. Очевидно, що вибір тієї чи іншої емпіричної формули диктується вимогою найкращого наближення $\varphi(x)$ і $f(x)$ у деякому інтервалі значень x .

Вибір емпіричної формули може бути зроблений на основі теоретичних уявлень про характер досліджуваної залежності чи про зміну вимірюваних

величин, а також шляхом порівняння графіка, побудованого за даними спостережень, з типовими графіками формул. Однак емпіричні криві можуть описуватися різними за виглядом рівняннями. Зміна чисельних значень коефіцієнтів, що входять у формулу, часто впливає на побудову графіка. Вибір масштабу координатних осей також відбивається на формі побудованої кривої. Тому доцільно перевірити можливість використання методу вирівнювання, що полягає в перетворенні нелінійної функції $y = f(x_i)$ у лінійну форму.

При виборі плану експерименту варто мати на увазі, що досліди можна виконувати пасивними та активними методами як у виробничих умовах, так і на різних моделях об'єкта. Дотримання вихідних передумов, прийнятих при розробці активних методів, забезпечує коректність отриманого математичного опису.

Етап 3. Проведення експерименту. У відповідності з обраним планом експерименти, як правило, повторюють. Для виключення впливу неврахованих випадкових впливів досліди рандомізують за часом, тобто черговість їхньої реалізації визначається не порядком у плані експериментів, а за таблицями випадкових чисел.

Етап 4. Статистична оцінка результатів дослідів. Після реалізації всіх дослідів плану експериментів проводять статистичну оцінку отриманих результатів, що зводиться до виключення грубих помилок, обчислення середніх за дослідом значень спостережень \bar{y}_i , визначення вибірових значень дисперсій S_y^2 для оцінки випадкових і відносних похибок, перевірки однорідності дисперсій, а також інших статистичних характеристик.

Етап 5. Виявлення грубих похибок. Якщо виявленні грубі похибки дослідів чи відносні їхні границі перевищують припустимі (задані), то повертаються до етапу 3 і повторюють деякі досліди або збільшують кількість повторень дослідів для одержання необхідних статистичних характеристик.

Етап 6. Обчислення коефіцієнтів у рівнянні опису. Для чисельної оцінки коефіцієнтів в емпіричній математичній формулі, вигляд якої обрано на

попередньому етапі, найбільш часто використовують метод найменших квадратів. Обчислення коефіцієнтів у рівняннях математичних моделей проводиться на ЕОМ за стандартними програмами.

Етап 7. Статистична оцінка моделі.

Найбільш просто оцінити отримане рівняння можна за відносними похибками між дослідними і розрахованими за рівняннями значеннями $y = \varphi(x)$, які можна визначити за формулою

$$\delta_v = \frac{y_v - \overline{y_v}}{y_v} \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

Якщо отримані значення відносних похибок в усіх дослідях не перевищують 5 %, то можна вважати, що емпіричне рівняння правильно описує експериментальні дані. У супротивному випадку необхідно вибрати інший вид рівняння і повторити знову всі етапи апроксимації.

Більш точні висновки про придатність отриманого рівняння для практичного використання можна зробити, піддавши його статистичному аналізу, заснованому на оцінках дисперсій. При цьому спочатку дають оцінку значущості коефіцієнтів рівняння, а потім перевіряють адекватність рівняння експериментальним даним.

Значущість коефіцієнтів b_i перевіряли за критерієм Стюдента (t-критерієм)

$$t = \frac{|b_i|}{S'_{b_i}}, \quad (2.5)$$

де S'_{b_i} - середньоквадратичне відхилення і-го коефіцієнта регресії рівняння.

Визначене формулою (2.4) значення критерія Стюдента порівнюють з табличним (критичним) $t_{кр}$. Якщо виявиться, що

$$t > t_{кр}, \quad (2.6)$$

то коефіцієнт b_i вважається значущим. У противному разі його зрівнюють з нулем та виключають з рівняння

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_Nx_N. \quad (2.7)$$

Перевірку значущості коефіцієнтів b_i виконували з використанням надійного інтервалу, який розраховували за формулою

$$\varepsilon_{bi} = t_{кр} \sqrt{S_{bi}^2},$$

(2.8)

де S_{bi}^2 - дисперсія i -го коефіцієнта регресії.

Якщо виконується умова $|b_i| \geq \varepsilon_{bi}$, то коефіцієнт вважається значимим.

Коефіцієнти, що залишились, за деякими винятками, перераховують заново та знову перевіряють їх значимість. Отримане рівняння, з якого виключені всі незначимі коефіцієнти, перевіряють на адекватність об'єкту моделювання. Перевірку адекватності виконували за критерієм Фішера:

$$F = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2}, \quad (2.9)$$

де $S_{неад}^2$ - дисперсія неадекватності, яка характеризує «розкид» обчислених за рівнянням (2.6) значень \bar{y}_u та результатів вимірювань \bar{y}_u ;

S_y^2 - дисперсія похибки дослідів, яка характеризує «розкид» значень y_u в паралельних дослідів та середнього значення дослідів \bar{y}_u .

Отримане за одним з виразів (2.8) розрахункове значення критерію Фішера порівнюють з табличним значенням $F_{кр}$. Якщо виявляється, що $F < F_{кр}$, то одержане рівняння адекватно описує дослідні дані. Перевірка адекватності не виконується, якщо число значущих коефіцієнтів в рівнянні дорівнює числу дослідів.

Етап 8. Якщо отримане рівняння виявилось неадекватним експериментальним даним, то повертаються до етапу 2, вибирають інший вид рівняння та план дослідів та повторюють знову етапи (2-7).

Застосування математичних методів, зокрема багатofакторного експерименту, дає змогу визначити оптимальні параметри та режими роботи подрібнювача при одержанні ВВ наповнювача з певним розподілом волокон за довжинами, одержати рівняння регресії.

Для визначення оптимальних значень параметрів та режимів роботи подрібнювача використовуються плани другого порядку, що дає можливість одержати функцію відгуку – рівняння регресії у вигляді полінома другого порядку.

$$y = b_0 + b_i x_i + b_{ij} x_i x_j + b_{ii} x_i^2, \quad (2.10)$$

де b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} - коефіцієнти регресії.

Рівняння регресії є адекватним, якщо воно представляє дослідні дані з похибкою, яка не перевищує похибки досліду. Для перевірки рівняння регресії визначається його адекватність за допомогою дисперсій відтворення досліду і виконується перевірка за критерієм Фішера.

Найбільш економічним є варіювання факторів на трьох рівнях з кодуванням факторів по формулі

$$x_i = \frac{X_0 - X_{oi}}{\varepsilon}, \quad (2.11)$$

де x_i - кодоване значення фактора (безрозмірна величина), для верхнього, центру експерименту та нижніх рівнів, вони позначені відповідно +1, 0 і -1;

X_i - натуральне значення фактора;

X_{oi} - натуральне значення факторів на нульовому рівні;

ε - натуральне значення інтервалу варіювання фактора.

Аналіз і дослідження рівняння регресії (2.9), в вигляді полінома другого порядку, дозволяє визначити центр поверхні відгуку та її тип і визначити оптимум досліджуваних параметрів.

При умові, що малий дискримінант J квадратичної форми позитивний, тобто (при $J > 0$), рівняння другого ступеня більше визначає еліпс, при $J < 0$ - гіперболу і при $J = 0$ - параболу. Якщо при $J = 0$ ці лінії будуть дійсними, а при

$J \neq 0$ вони вироджуються у точку. Окрім того, еліпс може бути ще удаваним, тобто його осі не мати позитивних значень.

Аналіз поверхні відгуку досліджуваних пар факторів, яка описується рівнянням регресії, здійснюється за допомогою двовимірних перетинів при нульових, або інших фіксованих рівнях інших факторів.

При підстановці різних значень показників факторів одержують рівняння відповідних контурних кривих, що представляють лінії рівного значення досліджуваного фактора.

Проведені розрахунки для усього діапазону проведених досліджень показали, що підсумкова похибка не перевищує 5 % для довірчого інтервалу ймовірності $\alpha=0,95$.

Висновки.

В данному розділі описано основні характеристики об'єктів для дослідження: в якості матриці обираємо політетрафторетилен марки ПН; в якості наповнювачів обрано вуглецеві волокна та каолін як дисперсний наповнювач.

Докладно описана технологія одержання дослідних зразків композиційних матеріалів, що складалася з підготовки інгредієнтів до змішування (механічна активація), змішування, спікання за встановленими режимами.

Методи дослідження включали стандартні методи визначення фізико-механічних і триботехнічних властивостей композиту, оптично-електронна мікроскопія для дослідження структури ПТФЕ та композитів на його основі.

Обробка результатів експериментів здійснена методами математичної статистики.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ
РЕЗУЛЬТАТІВ

Результати дослідження впливу механічної активації матричного ПТФЕ на експлуатаційні властивості ПТФЕ-композитів, наповнених волокнистим наповнювачем при різній концентрації, наведені на рис. 3.1 [31, 32].

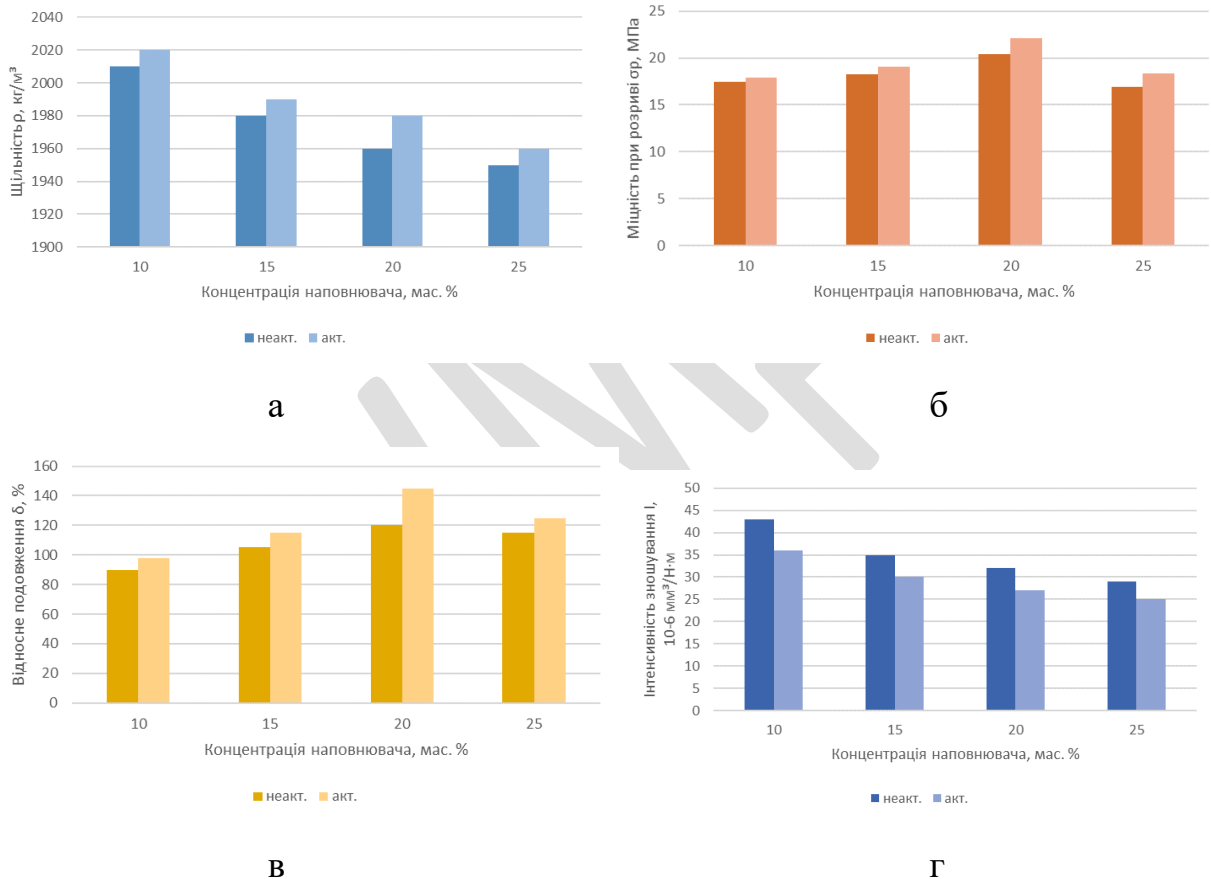


Рисунок 3.1 – Графіки залежності щільності (а), міцності при розриві (б), відносного подовження (в) та інтенсивності зношування в залежності від концентрації волокнистого наповнювача та застосування або незастосування механічної активації для матриці полімеру.

Проаналізувавши інформацію з вищеподаних графіків, можна констатувати, що застосування механічної активації для ПТФЕ-матриці сприяє підвищенню властивостей композитів, наповнених вуглецевими волокнами: міцності при розриві – до 8,5 %, відносного подовження – до 20 %, зносостійкості – до 15 % порівняно з композитами на основі звичайного ПТФЕ.

Також можна зробити висновок, що концентрація вуглецевих композитів у композиті повинна складати не менше 15 мас. %, оптимально - 20 мас. %, що повинно відповідати утворенню більш однорідної структури матеріалу, яка забезпечує і високі фізико-механічні та триботехнічні властивості.

Електронно-мікроскопічні дослідження структури композитів, наповнених ВВ, з активованою і неактивованою матрицею приведені на рис. 3.2.

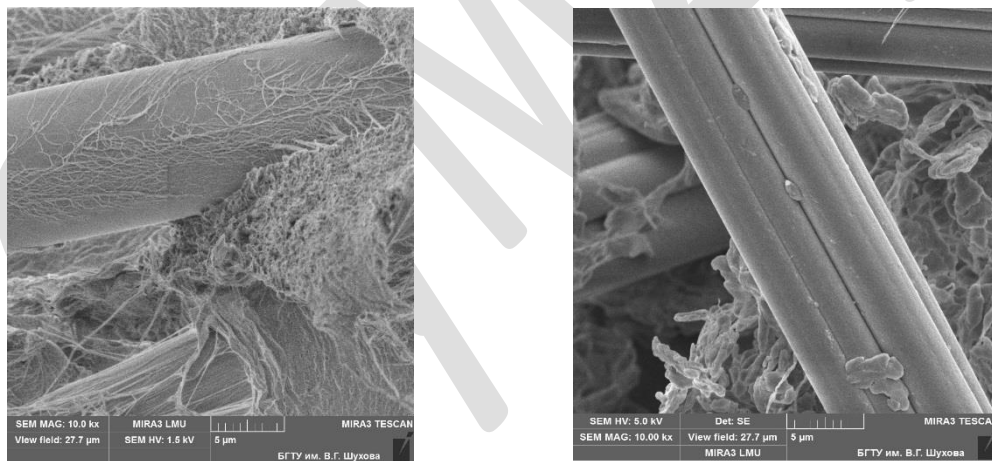


Рисунок 3.2 – Мікрофотографії структур ПТФЕ-композитів, наповнених фрагментами ВВ, з активованою (а) і неактивованою (б) матрицею.

В результаті механоактиваційного впливу відбувається модифікування поверхневого шару фрагментів ВВ активованим ПТФЕ (рис. 3.1, а), частинки

ПТФЕ розподіляються на поверхні ВВ з більш високою однорідністю, що забезпечує підвищення їх активності в процесах взаємодії з матричним ПТФЕ при формуванні композиту. ВВ, контактуючи з активованими частинками ПТФЕ, формують первинні адгезійні зв'язки, зменшуючи дефектність композиції та ймовірність виникнення дефектів при формуванні композиту.

Результати дослідження впливу механічної активації матричного ПТФЕ на експлуатаційні властивості композитів, наповнених каоліном при різній концентрації, наведені на рис. 3.3 [33].

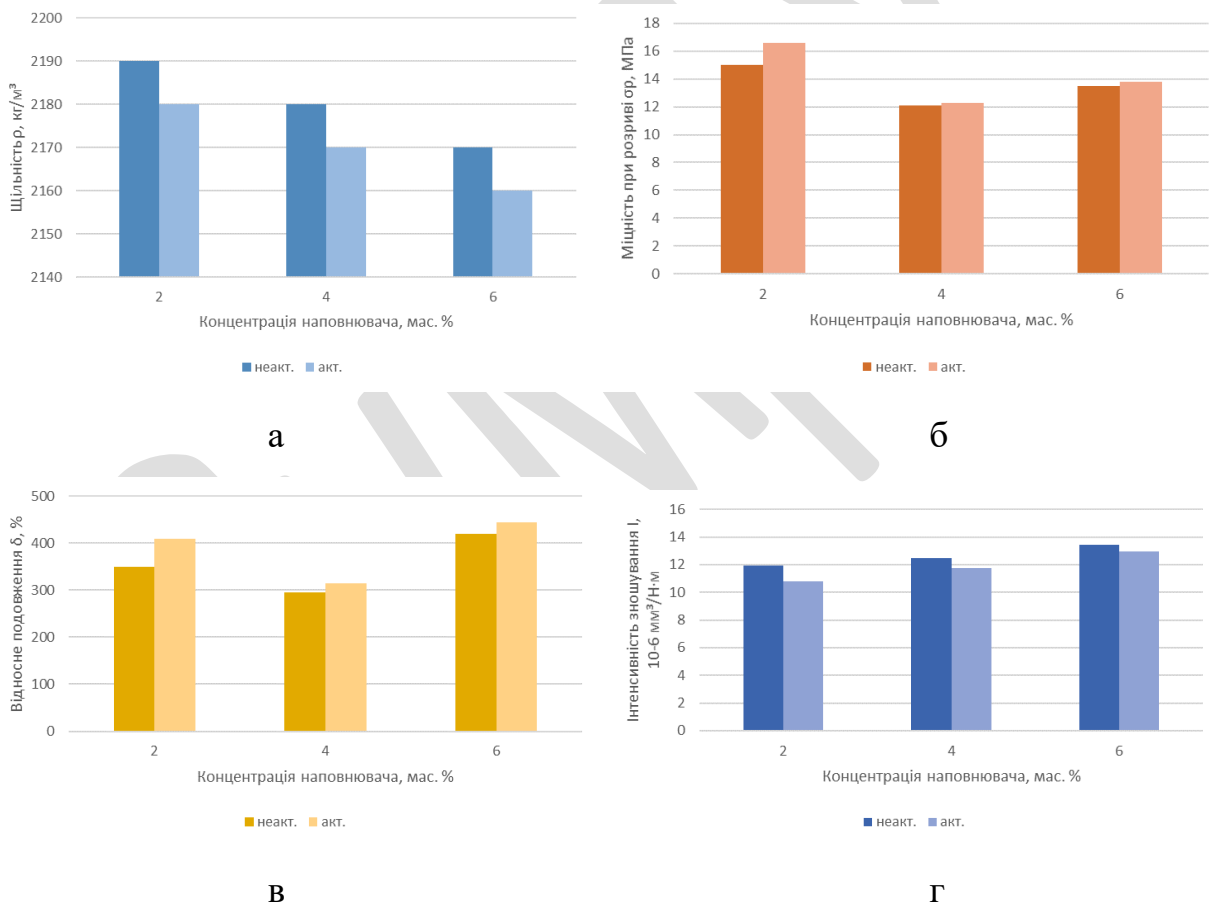
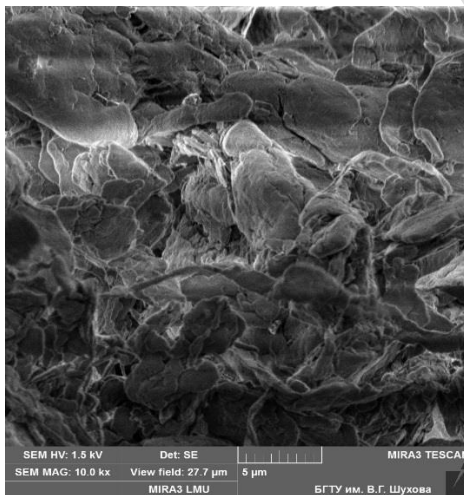


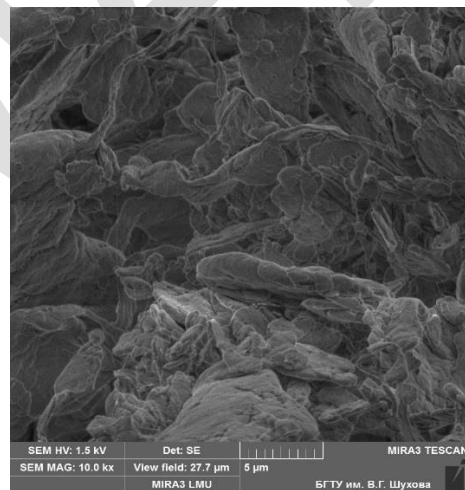
Рисунок 3.3 – Графіки залежності щільності (а), міцності при розриві (б), відносного подовження (в) та інтенсивності зношування в залежності від концентрації каоліну та застосування або незастосування механічної активації для матриці полімеру.

Проаналізувавши інформацію з вищеподаних графіків, можна констатувати, що механохімічно полімер з каоліном не взаємодіє, тобто в полімерному композиті «ПТФЕ – каолін» компоненти не пов'язані між собою хімічними зв'язками. Найвірогідніше цей зв'язок здійснюється за рахунок Ван-дер-ваальсових сил, що дозволяє отримати композити з необхідними фізико-механічними властивостями. Невисокі значення експлуатаційних властивостей ПТФЕ-композиту з каоліном обумовлені значно низькою адгезійної здатністю наповнювача і очевидно, потребують додаткових технологічних прийомів для її підвищення, в т. ч. технологічними методами енергетичного впливу як при підготовці інгредієнтів, так і отриманні композиції.

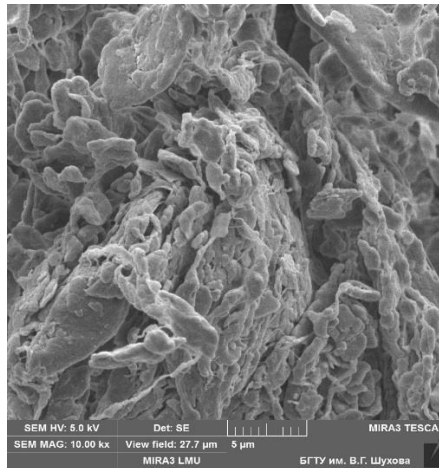
Електронно-мікроскопічні дослідження структури композитів, наповнених каоліном, з активованою і неактивованою матрицею приведені на рис. 3.4.



а



б



В

Рисунок 3.4 – Мікроструктура ПТФЕ-композиту з каоліном при його вмісті (мас. %): а – 2; б – 4; в – 6

На мікрофотографіях ідентифікуються частинки каоліну і надмолекулярні утворення активованої матриці, характер яких залежить від концентрації наповнювача. У всьому концентраційному діапазоні наповнення дані композити мають однотипну структуру, подібну структурі чистого ПТФЕ, але більш пористу (рис. 3.4, а). При збільшенні концентрації наповнювача надмолекулярна структура матриці стає більш пухкою і дефектною, збільшується кількість мікропорожнин (рис. 3.4, б), спостерігаються окремі частки каоліну, які відокремлені від матриці мікротріщинами уздовж всієї поверхні частинки. Збільшення концентрації наповнювача призводить також до агрегування частинок каоліну. Ці зміни проявляються особливо помітно при концентраціях геомодифікатору вище 6 мас. % (рис. 3.4, в).

Поєднання застосування механічної активації як для матриці ПТФЕ, так і для наповнювачів перед їх змішуванням викликало підвищення рівня експлуатаційних характеристик дослідних композитів (рис. 3.5).

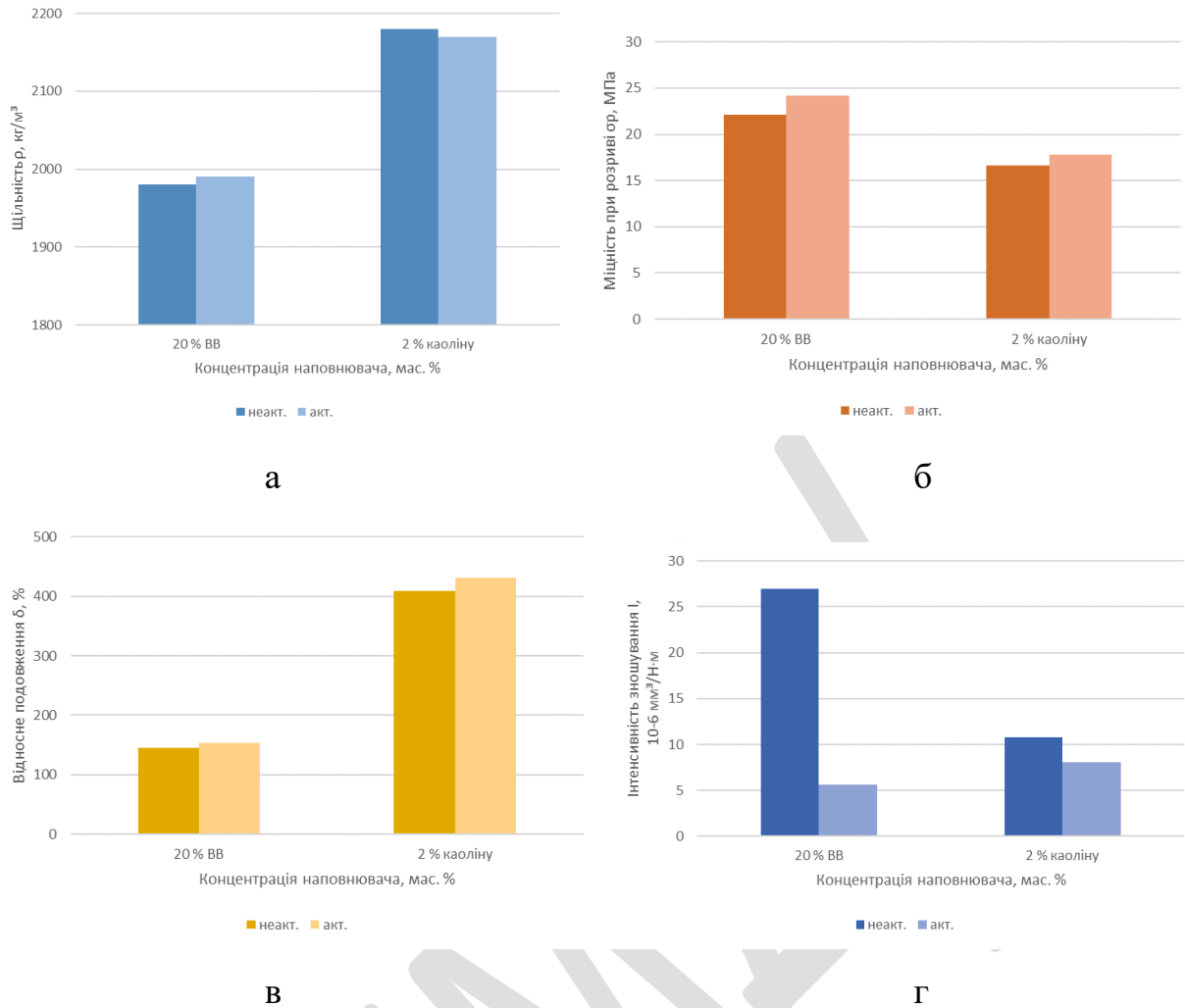


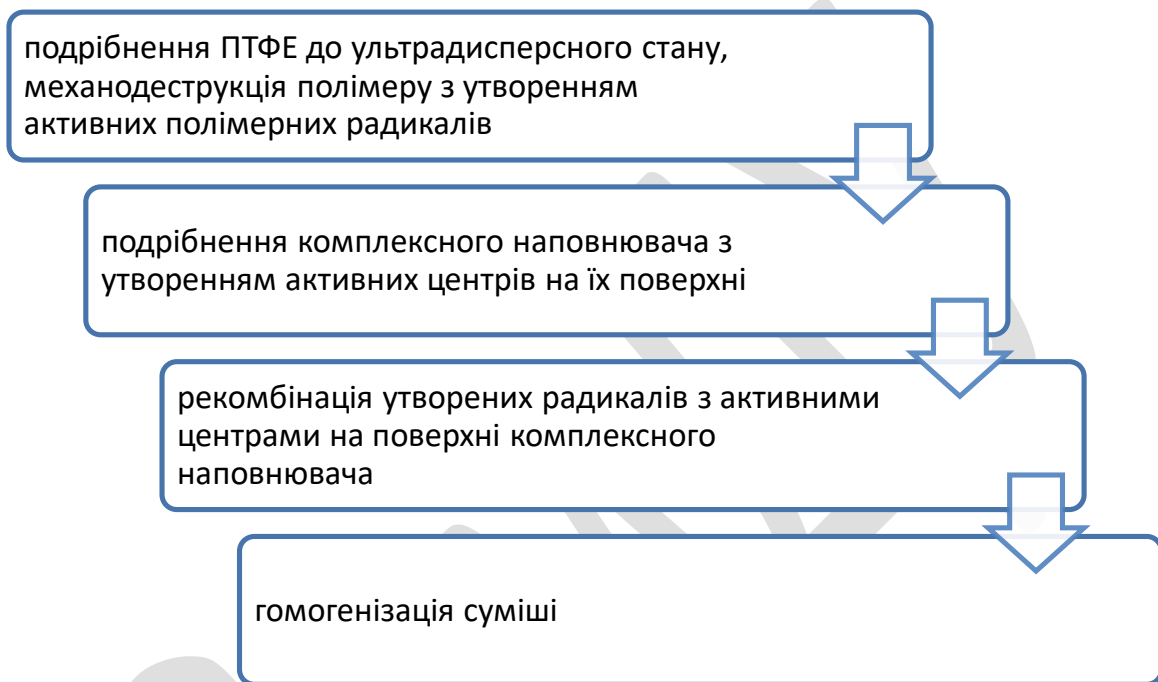
Рисунок 3.5 – Графіки залежності щільності (а), міцності при розриві (б), відносного подовження (в) та інтенсивності зношування в залежності від типу використовуваного наповнювача та застосування або незастосування механічної активації для компонентів композиту.

Аналіз рис. 3.5 показав, що механічна активація як матриці, так і наповнювачів сприяє значному підвищенню показників композитів на основі ПТФЕ:

– при наповненні 20 мас. % ВВ міцність при розриві зростає на 9,5 % і 18,6 %, відносне подовження – на 6,2 % і 28 %, зносостійкість збільшується в 4,6-5,8 рази і в 5,4-6,9 рази у порівнянні з неактивованим ВВ та неактивованим ПТФЕ відповідно;

– у композиті з 2 мас. % каоліну міцність при розриві зростає на 7,8 % і 19,3 %, відносне подовження – на 5,6 % і 23,4 %, зносостійкість збільшується в 1,2-1,6 рази і в 1,3-1,7 рази у порівнянні з неактивованим каоліном та неактивованим ПТФЕ відповідно.

В результаті механічної активації бінарного наповнювача композитів на основі ПТФЕ в матеріалі проходили наступні процеси:



Методами електронної мікроскопії досліджено структури таких ПТФЕ-композитів з активованими наповнювачами (рис. 3.6). В процесі енергетичного впливу на інгредієнти композиції, в результаті окремої механічної активації інгредієнтів перед їх змішуванням, відбувається зростання вільної поверхневої енергії, диспергування та зміна їх форми. Механічне навантажування призводить до виникнення метастабільних станів поверхневих шарів. Всі ці явища спричиняють появу на поверхні частинок наповнювачів некомпенсованих валентностей, сприяючих взаємодії частинок наповнювача з матрицею, ініціюванню реакції полімеризації мономерів або утворенню хімічного зв'язку з полімерними радикалами.

Одночасно з процесами активації наповнювачів проходить механохімічне руйнування макромолекул ПТФЕ з утворенням радикальних осколків. Наявність, з одного боку, активної поверхні частинок наповнювачів, а з іншого - вільного радикала макромолекули полімеру може ініціювати реакцію щеплення полімеру до наповнювача.

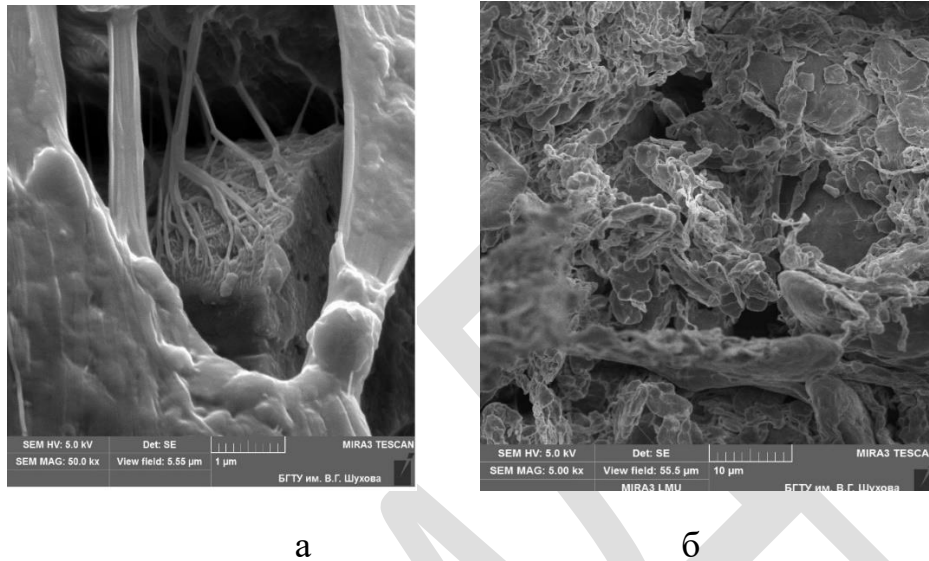
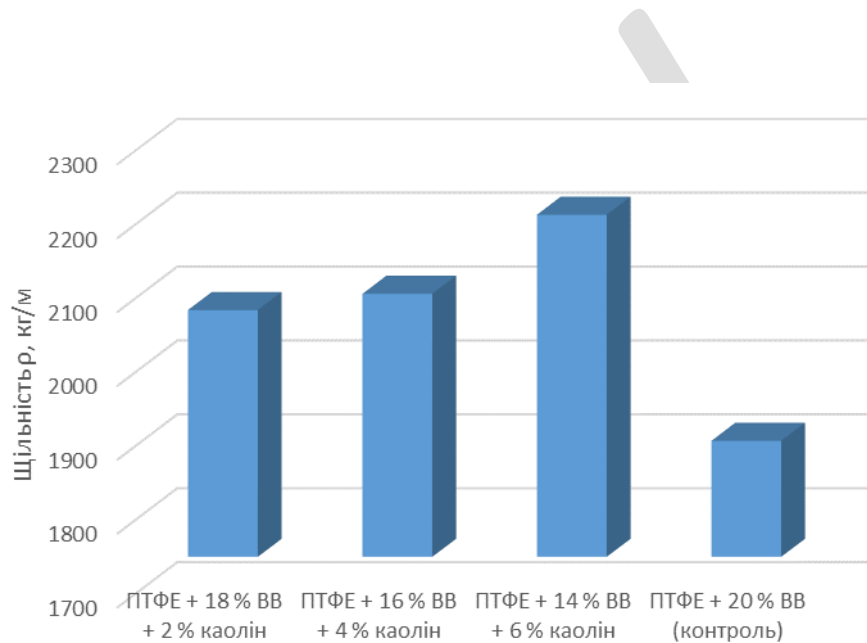


Рисунок 3.6 – Мікроструктура композиту на основі активованого ПТФЕ, наповненого активованим: а – ВВ, б – каоліном.

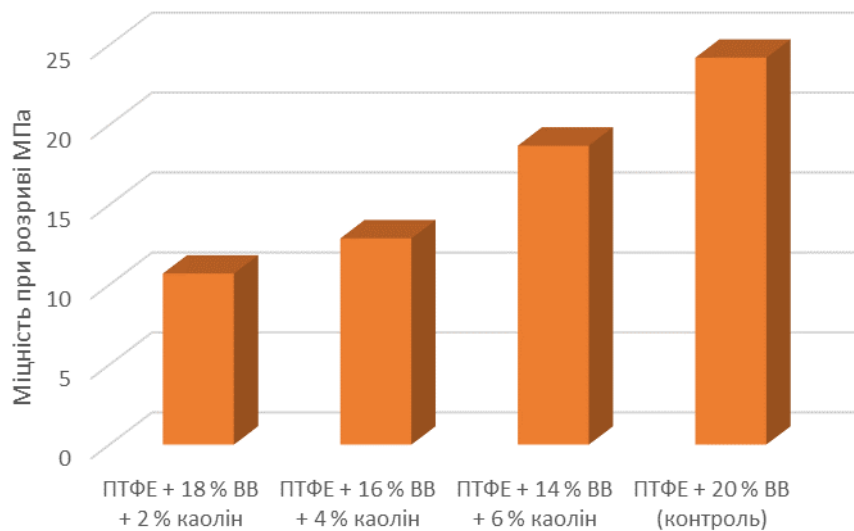
Методами електронної мікроскопії встановлено утворення при цьому на поверхні наповнювачів стабільного проміжного шару з ПТФЕ, який «заліковує» поверхневі дефекти наповнювачів та сприяє утворенню стабільного просторого кластеру наповнювача в об'ємі матриці композиції (рис. 3.6, а), що дозволяє досягати максимального армуючого ефекту і, тим самим, підвищити міцнісні характеристики композита та його зносостійкість. Механічна активація каоліну призводить до збільшення значення некомпенсованого заряду мінеральних часток, обумовленого особливостями кристалохімічної будови геомодифікаторів. В результаті проявляється ефект орієнтованої дії частинок наповнювача, які, виступаючи в ролі зародків

кристалізації, формують сферолітну надмолекулярну структуру ПТФЕ (рис. 3.6, б).

Поєднання застосування механічної активації матриці, наповнювачів, їх змішування, а також використання бінарного наповнювача знайшов викликало значне підвищення зносостійкості при збереженні необхідних значень фізико-механічних властивостей розроблених ПТФЕ-композитів (рис. 3.7).



а



б

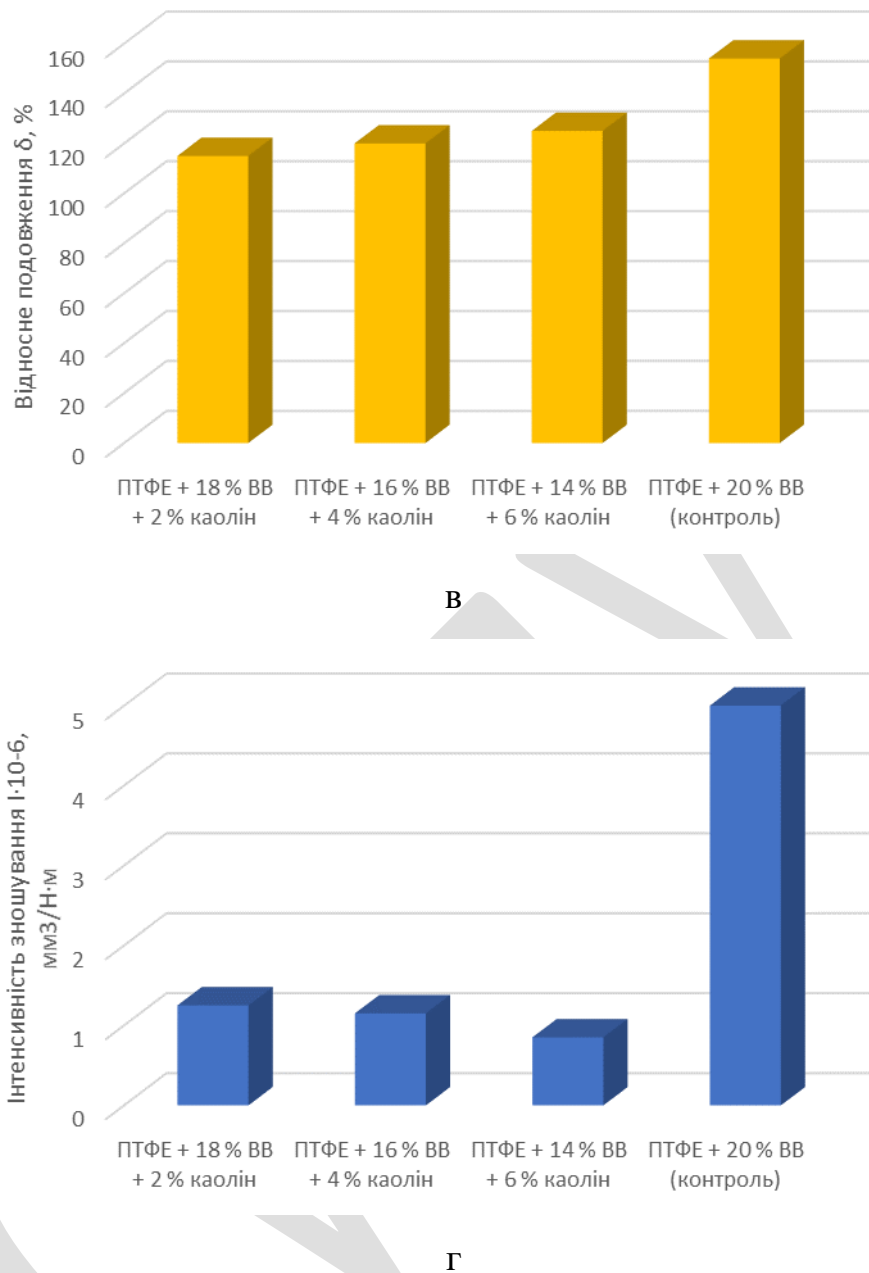


Рисунок 3.7 – Графіки залежності щільності (а), міцності при розриві (б), відносного подовження (в) та інтенсивності зношування в залежності від концентрації використовуваних наповнювачів композиту у порівнянні з промисловим композитом.

Проаналізувавши інформацію з вищеподаних графіків, можна констатувати, що найкращі показники експлуатаційних властивостей спостерігаються при наступних концентраціях інгредієнтів: 14 % ВВ, 6 % каоліну, решта – ПТФЕ.

Для оцінки впливу наповнювачів різної природи на процеси тертя та зношування ПТФЕ-композитів проведені дослідження впливу температури поверхні тертя системи «ПТФЕ-композит – контртіло» в залежності від концентрації наповнювача та тривалості випробування на знос (рис. 3.8). Випробування проводили при критичних режимах тертя без охолодження задля встановлення максимальної працездатності розроблених композитів.

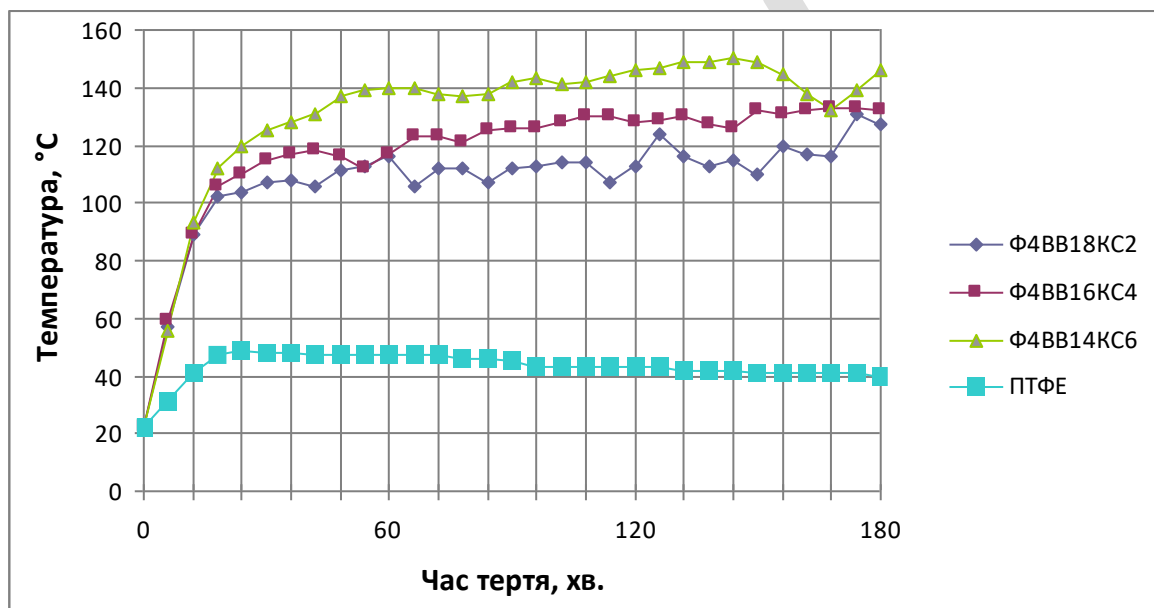


Рисунок 3.8 – Залежність температури поверхні тертя системи «ПТФЕ-композит – контртіло» від тривалості випробування на знос в залежності від концентрації введених наповнювачів.

З аналізу рис. 3.8 випливає, що активований ненаповнений ПТФЕ зношується рівномірно у всьому часовому інтервалі у відносно невисокому температурному інтервалі (40-50 °C). При випробуванні на знос композитів, наповнених ВВ та каоліном, видно, що трибосистема знаходиться у нерівноважному стані протягом всього часу випробування; зі збільшенням концентрації каоліну від 2 до 6 мас. % інтенсивність зношування зменшується з підвищенням температури (від 100 до 150 °C).

Таким чином, температура при зношуванні ПТФЕ-композитів грає подвійну роль. З одного боку, з підвищенням температури в зоні тертя підвищується енергія теплових флуктуацій, що повинно сприяти збільшенню інтенсивності зношування. З іншого боку, ріст температури послаблює вплив навантаження на енергетичний бар'єр терморуїнування, тим самим збільшуючи його. Так як в цілому інтенсивність зношування зменшується з підвищенням температури, то, очевидно, що другий механізм впливу температури на знос ПТФЕ-композитів переважає.

Висновки.

Встановлено, що визначальним фактором підвищення комплексу експлуатаційних властивостей ПТФЕ–композитів з активованими інгредієнтами є формування сферолітної НМС композитів під впливом активних частинок дисперсних наповнювача, виконуючих роль зародків кристалізації. Такі сферолітні структури ПТФЕ–композитів протидіють розвитку мікротріщин, виступаючи як вузли, які зв'язують ділянки ланцюгів макромолекул ПТФЕ, тим самим підсилюючи жорсткість ПКМ.

Методами електронної мікроскопії встановлено утворення на поверхні волокнистого наповнювача стабільного проміжного шару з ПТФЕ, який «заліковує» поверхневі дефекти наповнювача та сприяє утворенню стабільного просторого кластеру наповнювача в об'ємі матриці композиції, що дозволяє досягати максимального армуючого ефекту і, тим самим, підвищити міцнісні характеристики композиту та його зносостійкість.

Комплексні дослідження експлуатаційних властивостей ПТФЕ–композитів з активованими інгредієнтами показали, що одночасне введення активованого бінарного наповнювача дозволило значно підвищити зносостійкість матеріалу при збереженні високих значень фізико-механічних властивостей. Для кожного виду наповнювачів визначена оптимальна концентрація, що забезпечує утворення більш однорідної структури композита і високих фізико-механічних та триботехнічних властивостей. В результаті проведених досліджень показана перспективність використання механічної активації як для ПТФЕ–матриці, так і для наповнювачів різної природи для покращення експлуатаційних властивостей композитів.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Особливості визначення економічної ефективності науково-дослідних робіт.

До науково-дослідних робіт, виконуваних студентами, за якими повинен розраховуватися економічний ефект, відносяться роботи, безпосередньо спрямовані на створення нових технологічних процесів термічної обробки, нових механізмів, засобів автоматизації, приладів, обладнання, на поліпшення якості продукції, а також дослідження в галузі металознавства та інших наук, які носять теоретичний характер, але можуть бути використані для удосконалення матеріального виробництва [34].

Оцінка економічної ефективності результатів науково-дослідної магістерської роботи виконується для виявлення доцільності їх впровадження.

Економічний ефект визначається по різниці приведених витрат початкового (базового) рівня та рівня, який досягається після впровадження у виробництво результатів роботи.

Як база для порівняння приймаються: при визначенні економічної ефективності науково-дослідної роботи, в результаті якої створюється новий, раніше ніде не застосований технологічний процес або нова техніка - вищий рівень техніки (технології), встановленої, запроектованої або яка перебувала в стадії завершеного наукового дослідження в СНД і за кордоном; при визначенні економічної ефективності роботи, спрямованої на удосконалення діючої техніки і технології - рівень діючої техніки і технології, який буде досягнутий до моменту впровадження даної науково-дослідної роботи на виробництві.

В результаті виконання науково-дослідних робіт створюється економічний потенціал, який реалізується в міру впровадження їх у виробництво.

Економічний потенціал науково-дослідної роботи вимірюється максимальним економічним ефектом, який може бути отриманий при повному впровадженні результатів роботи. Величина економічного потенціалу на розрахунковий рік визначається за формулою:

$$EPP = ((C_1 + E_n \cdot K_1) - (C_2 + E_n \cdot K_2)) \cdot V_p \quad (4.1)$$

де EPP – економічний потенціал на розрахунковий рік;

C_1 і C_2 – собівартість одиниці продукції відповідно по базовому та новому варіантам в розрахунковому році;

K_1 і K_2 – питомі капітальні вкладення відповідно по базовому та новому варіантам;

E_n - нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності;

V_p – очікуваний об'єм виробництва даної продукції в розрахунковому році.

а відсутності повної інформації зручніше використовувати не абсолютні значення величин C і K , а їх зміни. У цьому випадку формула має вигляд:

$$EPP = (\Delta C + \Delta K \cdot E_n) \cdot V_p \quad (4.2)$$

де C і K - зміна відповідно собівартості одиниці продукції і питомих капітальних вкладень по новому варіанту у порівнянні з базовим.

До передачі результатів науково-дослідної роботи для впровадження у виробництво здійснюється ряд витрат, які не враховуються ні у собівартості продукції, ні у капіталовкладеннях. До витрат відносяться витрати на проведення наукового дослідження, створення експериментального обладнання, апаратури, приладів, виготовлення та випробування дослідних зразків, проектні розробки, дослідно-промислове випробування і т.п. При визначенні величини економічного потенціалу науково-дослідної роботи всі ці витрати повинні бути враховані.

До витрат на основні матеріали, купівельні вироби і напівфабрикати відносяться витрати на різні матеріали (наприклад, сталь різних марок) та вироби, що є об'єктом дослідження.

До витрат на допоміжні матеріали відносяться витрати на кислоти для травлення зразків, різні солі, луги, масла, створення штучної атмосфери та інші матеріали, які використовуються безпосередньо при проведенні досліджень.

Витрати на спеціальне обладнання включають витрати на його придбання для виконання даної роботи.

Витрати на основну і допоміжну заробітну платню включають оплату праці наукових та інженерно-технічних працівників, які служать, і робочих лабораторії за час їх участі у виконанні даної роботи, а також основних робочих досвідчених майстерень і виробництв за виконання замовлень по даній роботі.

Витрати на відрахування соціального страхування визначаються, виходячи з діючої норми відрахувань (для вузів може бути прийнята рівною 7 %).

У витрати на наукові та виробничі відрядження включаються всі витрати на відрядження науково-виробничого персоналу, пов'язані безпосередньо з виконанням даної роботи. Величина цих витрат визначається за фактичними даними і не повинна перевищувати 10 % суми основної і додаткової заробітної платні.

До витрат на оплату послуг сторонніх організацій відноситься оплата робіт, виконуваних безпосередньо для даного дослідження досвідченими сторонніми організаціями.

До інших прямих витрат відносяться витрати, що безпосередньо відносяться на дану роботу, але не включені до жодної з попередніх статей кошторису (оплата аналізів, експертиз, що виконуються сторонніми організаціями та ін.).

Невигідні витрати включають всі витрати, які можуть бути віднесені на вартість даної роботи лише непрямым шляхом (заробітна платня з

відрахуваннями адміністративно-управлінського персоналу, утримання та поточний ремонт будівель, обладнання загального призначення, витрати на охорону праці та ін.).

Невигідні витрати визначаються, виходячи з нормативу, встановленого у відсотках до основної та додаткової заробітної платні науково-виробничого персоналу (50-60 %) або до суми витрат по попереднім статтям (приблизно 20 %).

Враховуючи складність і велику трудомісткість визначення економічної ефективності науково-дослідних робіт розрахунки можуть бути орієнтовними. Проте на додаток до розрахунків необхідно вказати, за яким ще напрямками може виявитися ефективність виконаних розробок і які невраховані в розрахунку витрати можуть бути потрібні для впровадження цих розробок у виробництво.

5.2 Визначення економічної ефективності від впровадження розробленого композитного матеріалу.

Розрахунок річного економічного ефекту виконаний відповідно «Методиці визначення економічної ефективності в народному господарстві нової техніки винаходів і рацпропозицій».

Об'єкт впровадження - технологічні методи підвищення працездатності вузла тертя компресора.

Економічний ефект досягається, в основному, за рахунок заміни існуючого матеріалу на розроблений, який володіє більш високими показниками експлуатаційних властивостей. При цьому термін служби виробу і вузла тертя повинен зростати.

Основні техніко-економічні показники, необхідні для проведення розрахунку, наведені в таблиці 5.1.

Сумарний річний економічний ефект від впровадження розробленого матеріалу і підвищення терміну служби вузла тертя компресора:

$$E = \left(C_1 \cdot \frac{\frac{1}{T_1} + E_H}{\frac{1}{T_2} + E_H} + \frac{M - E_H \cdot K_2}{\frac{1}{T_2} + E_H} - C_2 \right) \cdot A$$

$$E = \left(52.34 \cdot \frac{\frac{1}{0,5} + 0,15}{\frac{1}{0,5} + 0,15} + \frac{500 - 2000}{\frac{1}{1,2} + 0,15} - 35.81 \right) \cdot 6 = 11140,12 \text{ (грн)}$$

Таким чином, первинний річний економічний ефект складає 11140,12 гривен.

Таблиця 4.1

№ з/п	Найменування показника	Позначення	СІ	Показники	
				Базовий варіант (1)	Новий варіант (2)
1	Середня витрата матеріалу на 1 т виробів	С'	грн./т	1,1	1,3
2	Оптова ціна за 1 т	Цо	грн.	11000	12000
3	Річний фонд роботи	φ	годин	8000	8000
4	Термін служби деталі	T	років	0,5	1,2
5	Додаткові текучі витрати	В _д	грн./т	28000	15000
6	Витрати на позаплановий ремонт	M	грн.	500	-
7	Нормативний коефіцієнт	E _н	-	0,15	0,15
8	Витрати на НДР	K ₂ /A	грн.	-	2000

Наведений розрахунок є орієнтовним, оскільки не враховує втрат річної продукції, яка не випускається, за час непланових ремонтів, а також додаткових коштів, необхідних для підготовки та проведення ремонтно-відновлювальних робіт.

Але, тим не менш, можна вже приблизно оцінити збільшення прибутковості впровадження даного матеріалу для вузлів тертя компресорного устаткування в основне виробництво.

Висновок

До експериментальних робіт, які виконуються студентами при виконанні кваліфікаційної роботи, за яким повинен розраховуватися економічний ефект, відносять роботи, безпосередньо спрямовані на створення нових технологічних процесів термічної обробки, нових механізмів, засобів автоматизації, приладів, устаткування, на поліпшення якості продукції, а також дослідження у галузі матеріалознавства, які мають теоретичний характер, але можуть бути використані для вдосконалення матеріального виробництва.

Оцінка економічної ефективності результатів кваліфікаційної роботи магістра виконується для виявлення доцільності їх упровадження. Економічний ефект визначається за різницею зведених витрат початкового (базового) рівня і рівня, що досягається після впровадження у виробництво результатів роботи.

Як база для порівняння береться: при визначенні економічної ефективності науково-дослідної роботи, в результаті якої створюється новий, раніше ніде не застосований технологічний процес або нова техніка – вищий рівень техніки (технології), впровадженої, запроєктованої або що перебуває на стадії завершеного наукового дослідження; при визначенні економічної ефективності роботи, спрямованої на вдосконалення діючої техніки і технології – рівень діючої техніки і технології, який буде досягнутий до моменту впровадження даної науково-дослідної роботи на виробництві.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 Основні завдання системи управління охороною праці на хімічних підприємствах.

Хімічне виробництво відноситься до галузей промисловості, які становлять підвищену потенційну небезпеку професійних отруень і захворювань працюючих. Причиною є те, що в процесі праці багато працюючих стикаються з хімічними речовинами, що мають ті чи інші токсичні властивості [35].

До основних завдань управління охороною праці на хімічних підприємствах відносять: 1) відпрацювання заходів, що стосуються державної політики з охорони праці на регіональному і галузевому рівнях; 2) підготовка, прийняття і реалізація заходів із забезпечення безпечних умов праці, утримання у належному стані обладнання, споруд, інженерних мереж; організація і проведення навчання працівників охорони праці та проведення професійного відбору; облік, аналіз і оцінка стану умов безпеки праці; забезпечення страхування працівників від нещасних випадків на виробництві та від профзахворювань; 3) організаційно-методичне керівництво на регіональному і галузевому рівнях; 4) стимулювання інтеграції управління охороною праці в єдину систему загального управління організацією виробництва; 5) широке впровадження позитивного досвіду у галузь охорони праці.

Основні функції СУОП на хімічних підприємствах, пов'язані з її функціонуванням, передбачають: планування робіт; розробку, прийняття і скасування нормативних актів; професійний відбір; навчання з питань охорони праці; регламентацію процесу праці; атестацію робочих місць щодо умов праці; паспортизацію об'єктів; реєстрацію та облік; експертизу;

ліцензування і сертифікацію; забезпечення безпеки устаткування, процесів, будівель, споруд і територій; забезпечення санітарно-гігієнічних умов праці, санітарно-побутового, лікувально-профілактичного і медичного обслуговування; узгодження і видача дозволів; попередження про виникнення небезпечних ситуацій; розслідування та облік нещасних випадків; розслідування та облік хронічних професійних захворювань; розслідування та облік аварій; фінансування робіт з охорони праці; стимулювання охорони праці; пропаганда і виховання безпечної поведінки; контроль та інспектування; наукове забезпечення; міжнародне співробітництво.

5.2 Правил охорони праці під час роботи з полімерними композитними матеріалами.

Правила охорони праці під час роботи з полімерними композитними матеріалами [36] поширюються на всіх суб'єктів господарювання незалежно від форм власності та організаційно-правових форм, діяльність яких пов'язана з виробництвом повітряних і космічних літальних апаратів, супутнього устаткування, а також виробництвом гумових виробів.

Дані Правила встановлюють вимоги з охорони праці під час виконання робіт з виробництва предметів і деталей з волокнистих наповнювачів (вуглецевих, органічних, скляних) і зв'язуючих на основі органічних смол. Вони є обов'язковими для роботодавців і працівників під час роботи з полімерними композитними матеріалами.

Основні вимоги до охорони праці. Працівники зобов'язані проходити навчання і перевірку знань з питань охорони праці відповідно до вимог Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, затвердженого наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 26 січня 2005 року № 15, зареєстрованого в

Міністерстві юстиції України 15 лютого 2005 року за № 231/10511 (НПАОП 0.00-4.12-05).

Організація і проведення технологічних процесів виготовлення препаратів і деталей з полімерних композитних матеріалів повинні відповідати вимогам ДСТУ 3273-95. Безпека промислових підприємств. Загальні положення та вимоги та цих Правил.

Під час організації і проведення технологічних процесів виготовлення деталей з вуглепластиків необхідно дотримуватись вимог СП № 4950-89 «Санітарні правила для виробництв матеріалів на основі вуглецю (вуглецевих, графітованих, волокнистих, композиційних)».

При проведенні технологічних процесів виготовлення деталей з полімерних композитних матеріалів необхідно застосовувати засоби захисту від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що запобігають або зменшують дію цих факторів до встановлених норм або рівнів.

Концентрації шкідливих аерозолів застосованих смол, розчинників, наповнювачів у повітрі робочої зони не повинні перевищувати значень, установлених ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони».

Вимоги до технологічних процесів. Під час виконання технологічних процесів виготовлення деталей з ПКМ необхідно дотримуватись положень технологічної документації, затвердженої в установленому порядку.

Стан компонентів, послідовність їх завантаження, режими змішування повинні відповідати вимогам технологічної документації.

Подрібнення твердих компонентів (смол, затверджувачів) потрібно механізувати і проводити в герметично закритих апаратах. Невелику кількість компонентів (до 3 кг) дозволяється подрібнювати вручну в тарі, що виготовлена з міцних матеріалів, що унеможливають іскроутворення. При цьому роботу слід проводити у витяжній шафі або в тарі, яка виключає пилоутворення.

Очищення оснащення від залишків продукту, мастила слід проводити із забезпеченням відсмоктування пилю на робочих столах з місцевим відсмоктуванням або із застосуванням пересувних відсмоктувальних пристроїв.

Намотування, викладення заготовок деталей, розкрій препрегів повинні проводитися автоматизованим або механізованим способом. У разі неможливості автоматизації або механізації процесів викладки заготовок деталей, розкрою препрегів з технологічних причин, а також при виготовленні дослідних зразків деталей малих партій дозволяється робити викладку заготовок деталей, розкрій препрегів вручну.

Виготовлення деталей з ПКМ пресуванням здійснюється відповідно до НПАОП 25.0-1.01-12 «Правила охорони праці на об'єктах з переробки пластичних мас».

Механічну обробку необхідно проводити на верстатах, обладнаних відсмоктувальними пристроями. Для оброблення деталей ПКМ ручним механізованим інструментом слід використовувати ручні пневматичні машини із вбудованими відсмоктувачами.

Вимоги до розміщення виробничого обладнання і організації робочих місць. Розміщення виробничого обладнання повинно здійснюватися відповідно до проектної документації та забезпечувати безпечну евакуацію працівників при аварійних ситуаціях.

Розміщення обладнання повинно забезпечити безпеку та зручне його обслуговування і ремонт, а також за можливості прямоточність транспортування оснастки, деталей та матеріалів.

Організація робочих місць повинна відповідати вимогам ДСТУ 8604:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги», ДСТУ 7950:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги».

Кількість розчинників, клеїв, мастил, зв'язуючих, що знаходяться одночасно на робочому місці, не може перевищувати норми, встановленої технологічною документацією.

Вимоги безпеки до зберігання, транспортування матеріалів. На кожну партію речовин, матеріалів, що застосовуються при виготовленні деталей з ПКМ, потрібно мати паспорт або сертифікат.

До застосування допускаються матеріали і речовини, що мають санітарно-гігієнічні характеристики (граничнодопустимі концентрації (ГДК) або орієнтовні безпечні рівні впливу (ОБРВ)), а пожежонебезпечні речовини - також основні показники пожежної небезпеки.

Речовини і матеріали, що застосовуються під час виготовлення деталей з полімерних композитних матеріалів, повинні зберігатися залежно від пожежонебезпечних фізико-хімічних властивостей, сумісності, а також ознак однорідності речовин, що застосовуються для гасіння пожеж, відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004.

Зберігання, транспортування пожежонебезпечних та шкідливих речовин і матеріалів необхідно здійснювати в щільно закритій тарі постачальника або технологічній тарі.

Збір відходів виробництва здійснюється в технологічну тару. Збір рідких відходів, забруднених серветок, тампонів тощо, обрізків препрегів проводиться в тару, яка щільно закривається. Обрізки пластику слід збирати в металеві ящики, що виключають випадання з них відходів при транспортуванні.

Вимоги до забезпечення працівників засобами індивідуального захисту. Вибір конкретних типів ЗІЗ повинен проводитися залежно від рівня небезпечних і шкідливих факторів, використовуваних матеріалів, речовин, а також від умов виробничого процесу, операцій і застосованого устаткування, оснащення, інструменту та згідно ДСТУ 7239: 2011 «Системи стандартів

безпеки праці. Засоби індивідуального захисту Загальні вимоги та класифікація».

Працівники, які виконують роботи з ПКМ, забезпечуються ЗІЗ згідно з Нормами безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам хімічних виробництв (Частина 1), затвердженими наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 7 вересня 2004 року № 194, зареєстрованими в Міністерстві юстиції України 26 жовтня 2004 року за № 1362/9961 (НПАОП 24.0-3.01-04), Нормами безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам хімічних виробництв. (Частина 2), затвердженими наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 13 грудня 2007 року № 305, зареєстрованими в Міністерстві юстиції України 31 березня 2008 року за № 264/14955 (НПАОП 24.0-3.03-07).

5.3 Правил охорони праці на підприємствах з виробництва пластмасових виробів.

Правил охорони праці на підприємствах з виробництва пластмасових виробів [37] поширюються на суб'єктів господарювання незалежно від форм власності та організаційно-правових форм, які здійснюють діяльність з виробництва пластмасових виробів.

Дані Правила встановлюють вимоги з охорони праці та безпеки виробництва пластмасових виробів. Вони є обов'язковими для роботодавців та працівників, які виконують роботи з виробництва пластмасових виробів.

Виробничі процеси повинні відповідати вимогам Правил охорони праці на об'єктах з переробки пластичних мас, затверджених наказом Міністерства надзвичайних ситуацій України від 16 липня 2012 року № 989,

зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 07 серпня 2012 року за № 1336/21648.

Вимоги охорони праці під час пресування. Пуансони і матриці пресів, нагрівальні пояси роторних ліній повинні мати надійну теплоізоляцію зовнішніх поверхонь або запобіжні пристосування для уникнення прямого контакту працівника з поверхнями.

Преси, під час роботи яких виділяються тепло, гази та пари, повинні мати капсуляцію з вмонтованим місцевим відсмоктувачем. Преси повинні мати пристрої, що запобігають потраплянню рук у небезпечну зону під час руху повзуна (система вимикання із зайнятістю обох рук, капсуляція з блокуванням дверей).

Вимоги охорони праці під час дроблення відходів пластмас. Переробка відходів пластмас на дробарках різного типу повинна проводитись в окремих приміщеннях або у виробничих приміщеннях з використанням колективних засобів захисту: звукоізолювальних (кожухи, екрани, кабіни) та звукопоглинальних пристроїв (облицювальні, штучні звукопоглиначі); глушників аеродинамічного шуму; огорожувальних пристроїв відповідно до вимог ДСТУ 7238:2011 "ССБП. Засоби колективного захисту працюючих. Загальні вимоги та класифікація".

Дробарки повинні бути забезпечені надійним захисним заземленням та/або зануленням, надійним огороженням рухомих частин обладнання, пристроями для закривання завантажувальних бункерів.

Працівники, які обслуговують дробарки, повинні використовувати ЗІЗ відповідно до вимог Технічного регламенту засобів індивідуального захисту.

5.4 Охорона довкілля.

Контроль за викидами шкідливих речовин в атмосферне повітря населених місць ведеться відповідно до вимог Закону України "Про охорону

атмосферного повітря", ДСП 201-97 "Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами)", ГОСТ 17.1.5.02-80 Охорона природи. Гідросфера. Гігієнічні вимоги до зон рекреації водних об'єктів, наказу Міністерства охорони здоров'я України від 17 березня 2011 року № 145 "Про затвердження Державних санітарних норм та правил утримання територій населених місць", зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 05 квітня 2011 року за № 457/19195.

Поводження з відходами, які утворюються на підприємствах з виробництва пластмасових виробів, повинно здійснюватися відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.7.029-99 "Гігієнічні вимоги щодо поведження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення".

Технологічні процеси, пов'язані з транспортуванням продукції, необхідно здійснювати відповідно до НПАОП 0.00-1.75-15 «Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт».

Контроль параметрів повітря робочої зони на вміст шкідливих речовин та пилу ведеться відповідно до вимог ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зон». Під час проведення технологічних процесів, пов'язаних із застосуванням шкідливих речовин 1 та 2 класів небезпеки, повинна бути виключена можливість контакту працівників із цими речовинами.

Окремі стадії технологічного процесу, які не можуть виконуватися в герметичному обладнанні (підготування матеріалів, завантаження сировини та вивантаження продукції), повинні бути механізованими або виконуватися з використанням механічних пристроїв, що унеможливають безпосередній контакт працівників зі шкідливими речовинами.

Зберігати та транспортувати сировину, готову продукцію та відходи виробництва необхідно у виробничій тарі. Порошкоподібні матеріали

необхідно зберігати в бункерах або закритій тарі. Транспортування порошкоподібних матеріалів необхідно здійснювати способом, що унеможлиблює їх розпилення.

Речовини та матеріали, що застосовуються під час виробництва пластмасових виробів, повинні зберігатися залежно від пожежонебезпечних фізико-хімічних властивостей, сумісності, а також ознак однорідності речовин, що застосовуються для гасіння пожежі відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004. Технологічні відходи виробництва необхідно направляти на вторинну підготовку сировини і переробку.

Висновки

Структура органів управління охороною праці в хімічній галузі промисловості встановлюється положенням про систему управління охороною праці міністерства, концерну, корпорації та іншого об'єднання підприємств, утвореного за галузевим принципом, що узгоджується з Держгірпромнаглядом.

Для промисловості пластмас характерні специфічні небезпеки, які значною мірою залежать від використовуваних в процесі виробництва речовин. Найважливішою небезпекою є пожежо- і вибухонебезпечність та шкідливий вплив на здоров'я різної сировини, пластмас у гранульованому і порошкоподібному вигляді і синтетичних смол.

Для більшості процесів переробки пластмас застосовують спеціальне обладнання, при використанні якого виникає небезпека травматизму під час його монтажу, налагодки й експлуатації.

Існує ряд шкідливих факторів, пов'язаних з переробкою пластмас. Полімери рідко переробляють в чистому вигляді, тому слід дотримуватись відповідних заходів обережності щодо добавок, які вводяться в різні композиції. До добавок належать, наприклад, свинцеві солі жирних кислот, деякі органічні і кадмієві барвники, що використовуються в полівінілхлоридних композиціях.

Летючі продукти термічного розкладання полімерів, що виділяються в процесі переробки при нормальних режимах, не становлять суттєвої небезпеки. Однак, при очищенні циліндрів екструдера слід дотримуватися особливої обережності, щоб уникнути попадання продуктів піролізу в дихальні шляхи. Вплив парів хлористого водню при деструкції полівінілхлоридів або продуктів термодеструкції політетрафторетилену призводить до захворювання операторів "полімерною лихоманкою".

ВИСНОВКИ

1. Кваліфікаційна робота присвячена вивченню впливу різних наповнювачів (вуглецеве волокно/каолін) на структурні зміни, що відбуваються в ПТФЕ-матриці під впливом фізичного модифікування, а також як ці зміни в структурі композиту впливають на його триботехнічні характеристики.

2. Аналіз літературних джерел за темою досліджень дозволяє встановити, що оптимальний вибір типу і кількості наповнювачів, а також форми та розміри їх частинок є однією з головних проблем при створенні нових композицій на основі ПТФЕ. Якщо правильно підібрати тип і кількість наповнювачів, то це призведе до підвищення характеристик композиту, в тому числі триботехнічних.

3. В якості матриці обрано політетрафторетилен марки ПН; в якості наповнювачів обрано вуглецеві волокна та каолін як дисперсний наповнювач. Докладно описана технологія одержання композиційних матеріалів, що складалася з підготовки інгредієнтів до змішування (механічна активація), змішування, спікання за встановленими режимами. Методи дослідження включали стандартні методи визначення фізико-механічних і триботехнічних властивостей композиту та оптично-електронна мікроскопія.

4. Комплексні дослідження експлуатаційних властивостей ПТФЕ–композитів показали, що одночасне введення активованого бінарного наповнювача дозволило значно підвищити зносостійкість матеріалу при збереженні високих значень фізико-механічних властивостей.

5. Для кожного виду наповнювачів визначена оптимальна концентрація, що забезпечує утворення більш однорідної структури композита і високих фізико-механічних та триботехнічних властивостей.

6. В результаті проведених досліджень показана перспективність

використання механічної активації як для ПТФЕ–матриці, так і для наповнювачів різної природи для покращення експлуатаційних властивостей композитів.

7. Оцінка економічної ефективності результатів кваліфікаційної роботи магістра виконується для виявлення доцільності їх упровадження. Економічний ефект досягається, в основному, за рахунок заміни існуючого матеріалу на розроблений, який володіє більш високими показниками експлуатаційних властивостей. При цьому термін служби виробу і вузла тертя повинен зростати.

8. У ході роботи проаналізовані потенційні небезпеки й шкідливості на виробництві пластмасових виробів; представлені заходи щодо забезпечення охорони праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Smith, D.W., Iacono, S.T., Iyer, S.S. (eds.): Handbook of Fluoropolymer Science and Technology. Wiley, Hoboken (2014).
2. Сиренко, Г.А. Антифрикционные карбопластики - Киев : Техника, 1985. – 195 с.
3. А.К. Пугачев, О.А. Росляков. Переработка фторопластов в изделия – Л. : Химия, 1987. – 168 с.
4. Mikhailova, L., Voropaev, V., Gorbatshevich, G., Lauryniuk, I.: Technology of tribotechnical and sealing composite materials based on polytetrafluoroethylene. Min. Mech. Eng. Mach. Build. **4**, 86–97 (2011).
5. N.Miyazaki, Journal of Composite Materials, 50(23), 3175 (2016).
6. https://www.parker.com/Literature/Praedifa/Catalogs/Catalog_PTFE-Seals_PTD3354-RU.pdf
7. <http://ar-pro.org/docs/d01.pdf>
8. Anton Panda; Kostiantyn Dyadyura; Jozef Mihok; Iveta Pandov; Daniela Onofrejev. Modelling of the structure and the required level of performance properties of a polytetrafluoroethylene composites for sealing. Acta Simulatio - International Scientific Journal about Simulation Volume: май 2019 Issue: 1 Pages: 1-7.
9. Budnik, O.A., Sviderskii, V.A., Budnik, A.F., Berladir, K.V., Rudenko, P.V.: Composite material for chemical and petrochemical equipment friction assemblies. Chem. Pet. Eng. 1(52), 63–68 (2016).
10. U.K. Debnath, M.A. Chowdhury, D.M. Nuruzzaman, Md.M.Rahman, B.K. Roy, Md.A.Kowser, Md.M.Islam, J Polym Eng, 35(9), 889 (2015).
11. Підвищення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей триботехнічних ПТФЕ композитів методами механічної активації / О.А. Будник, Х.В. Берладір, А.Ф. Будник, П.В. Руденко // Проблеми тертя та зношування. – 2014. – № 4 (65). – С. 130-135.

12. Буря О. І. Полімерні композитні матеріали з дисперсними і волокнистими наповнювачами / О. І. Буря, О. Ю. Кузнецова // Композитные материалы. – 2012. – Т. 6, № 1. – С. 3-18.
13. O. V. Gogoleva, P. N. Petrova, E. S. Kolesova, A. A. Okhlopko. (2020) Influence of Component–Mixing Methods on the Properties and Structure of UHMWPE-Based Composites. *Journal of Friction and Wear* 41:1, 36-39.
14. Ю.К. Машков, О.А. Кургузова, А.С. Рубан Разработка и исследование износостойких полимерных нанокомпозитов. Вестник СибаДИ, том 15, № 1, 36-45 (2018).
15. Антифрикционный полимерный композиционный материал // Патент РФ 2525492 С2. № 2012146766/05; заявл. 10.05.2014; опубл. 20.08.2014, Бюл. № 23 / Ю.К. Машков, О.В. Кропотин, О.А. Кургузова. (RU). 3 с.
16. Способ изготовления из полимерных композиционных материалов на основе политетрафторэтилена и устройство для изготовления изделий // Патент на изобретение 2546161 С2. № 2013125074/05; заявл. 10.12.2014; опубл. 10.04.2015, Бюл. № 10 / Ю.К. Машков, О.В. Кропотин, В.А. Егорова, О.А. Кургузова (RU). 3 с.
17. Nguyen Xuan Thuc. Effect of polytetrafluoroethylene dispersion on structure and properties of ultra-high-molecular-weight polyethylene-based composites. *Hue University Journal of Science: Natural Science* Vol. 126, No. 1B, 2017, P. 47–53.
18. Oleh Kabat, Krystyna Heti, Ihor Kovalenko, Anatoliy Dudka: Fillers on the Silica Base for Polymer Composites for Constructional Purposes. *Journal of Chemistry and Technologies* 27(2), 247–254 (2019).
19. A.P. Vasilev, T.S. Struchkova, A.A. Okhlopko, A.G. Alekseev, A.P. Vasilev Development of Antifriction Materials Based on Polytetrafluoroethylene Filled with Binary Fillers. *Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology (AHMST)*, volume 1. International Symposium

"Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" (ISEES 2019). 337-341.

20. Voropaev, Victor, 2013. Technology of polytetrafluoroethylene-based nanocomposite materials: Structural and morphological aspect", Applied Technologies and Innovations, Vol.9, Issue2, pp.59-68.

21. Sleptsova SA, Kirillina YV, Lazareva NN, Grigoryeva LA, Ammosov MK (2017) Joint Effect of Serpentine and Nano Magnesium Spinel on the Properties of Polytetrafluoroethylene. J Nanosci Nanotechnol Res Vol.1: No.1: 6.

22. Yue Wang, Jun Gong, Dongya Yang, Gui Gao, Junfang Ren, Bo Mu, Shengsheng Chen & Honggang Wang (2014) Tribological Behavior of Nano-Al₂O₃-Reinforced PPS-PTFE Composites, Tribology Transactions, 57:2, 173-181.

23. Friedrich K.: Polymer composites for tribological applications. Advanced Industrial and Engineering Polymer Research (2018), doi: 10.1016/j.aiepr.2018.05.001.

24. Avdeychik S., Vorontsov A., Mishuk Y., Sarokin V., Struk V. Structural principles of formation highly durable tribotechnical materials based on polytetrafluoroethylene. Materials Science. Non-Equilibrium Phase Transformations. International Scientific Journal. Vol. 1 (2015), Issue 1, 25-31.

25. Трение и износ материалов на основе полимеров / В.А. Белый, А.И. Свириденко, М.И. Петраковец и др. – Минск : Наука и техника, 1976. – 430 с.

26. Машков, Ю.К. Трибофизика и свойства наполненного фторопласта. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 1997. – 192 с.

27. Погосян, А.К. Трение и износ наполненных полимерных материалов. - М. : Наука, 1977. - 139 с.

28. Свідерський, В. А. Фізико-хімічні властивості поверхні каолінів і каолінітвмісних глин та їх водних дисперсій : монографія / В. А. Свідерський, В. Г. Сальник, Л. П. Черняк. – К. : Знання, 2012. – 166 с.

29. Спосіб приготування порошку політетрафторетилену методом механічної активації : пат. № 101976 U Україна : МПК C08J5/04 / Будник А. Ф., Берладір Х. В., Руденко П. В., Свідерський В. А. ; заявник і власник Сумський державний університет. – № u201503443 ; заявл. 14.04.2015 ; опубл. 12.10.2015, Бюл. № 19. – 3 с.

30. Будник, О. А. Вуглепластики триботехнічного призначення на основі фторопласту-4 та модифікованого вуглеволокнистого наповнювача : автореф. дис... канд. техн. наук : 05.17.06 / О. А. Будник. – Дніпропетровськ, 2010. – 20 с.

31. Budnik, O. A. Influence of mechanical activation polytetrafluoroethylene matrix of tribotechnical composites at its structural and phase transformations and properties / O. A. Budnik, A. F. Budnik, P. V. Rudenko, V. A. Sviderskiy, K. V. Berladir // Functional Materials. – 2015. – Vol. 22, No. 4. – P. 499–506.

32. Berladir K.V. Designing and examining polytetrafluoroethylene composites for tribotechnical purposes with activated ingredients / K.V. Berladir, V.A. Sviderskiy // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 6 (84). – P. 14–21.

33. Влияние геомодификатора на структуру и свойства механически активированного политетрафторэтилена / К.В. Берладир, А.Ф. Будник, В.А. Свидерский, О.А. Будник, П.В. Руденко // Журнал інженерних наук. – 2015. – Т. 2, № 1. – С. F1–F5.

34. А. Ф. Будник, В. І. Сігова Кваліфікаційні роботи в матеріалознавстві : навч. посіб. — Суми : СумДУ, 2008. — 198 с.

35. Крюковська О.А., Левчук К.О. Охорона праці в галузі (для хімічних спеціальностей) під редакцією к.т.н., доцента Толока А.О.: Навч. посібник. – 2011. – 230 с.

36. НПАОП 25.0-1.02-13 «Правила охорони праці під час роботи з полімерними композитними матеріалами», наказ МНС України № 1409 від

12.12.2012 р., зареєстровано в Міністерстві юстиції України за № 23/22555 від 02.01.2013 р. – 33 с.

37. НПАОП 25.0-1.04-13 «Правила охорони праці на підприємствах з виробництва пластмасових виробів», наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України № 702 від 01.10.2013 р., зареєстровано в Міністерстві юстиції України за № 1750/24282 від 11.10.2013 р. – 13 с.