

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію Кабата Олега Станіславовича «Науково-технічні основи технології виготовлення термостійких полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення», яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.06 – технологія полімерних і композиційних матеріалів.

Актуальність теми дисертації

Сучасний розвиток науки і техніки неможливий без прогресу в області розробки якісно нових матеріалів, створення яких, у більшості випадків, приводить до значного технологічного стрибка у різних галузях промисловості.

Одними із найбільш перспективних матеріалів є полімери та полімерні композиційні матеріали (ПКМ) на їх основі. Завдяки своїм унікальним властивостям вони знайшли широке використання практично у всіх галузях життєдіяльності людини. З полімерів та ПКМ на їх основі отримують широку номенклатуру виробів, починаючи з посуду та закінчуючи елементами літаків та ракет.

Більшість сучасних машин і механізмів завдяки значному підвищенню продуктивності, яке досить часто відбувається за рахунок інтенсифікації роботи їх основних вузлів, мають невисокий рівень надійності та довговічності, тому актуальною задачею є його покращення. Це можливо зробити використовуючи в якості деталей машин і механізмів полімери та ПКМ на їх основі. Зважаючи на те, що сучасні машини і механізми працюють при високому рівні навантажень, швидкостей ковзання та температур, то використання більшості крупнотонажних полімерів та ПКМ для забезпечення їх нормальної роботи неможливо внаслідок недостатнього рівня термічної стійкості, міцності і трибологічних властивостей полімерів. Лабораторні аналоги крупнотонажних полімерів, рівень властивостей яких

відповідає вимогам, що висуваються до деталей сучасних машин, мають досить високу собівартість за рахунок дефіцитності вихідних компонентів і складної технології переробки у вироби.

Тому актуальним завданням є розробка нових полімерних композиційних матеріалів з невисокою собівартістю за рахунок використання недефіцитних вихідних компонентів та спрощення технології їх отримання, деталі з яких здатні працювати у сучасних машинах і механізмах при високому рівні навантажень, швидкостей ковзання і температур, забезпечуючи при цьому їх надійну та довговічну роботу.

У зв'язку з цим, дисертаційна робота Кабата О.С. "Науково-технічні основи технології виготовлення термостійких полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення", яка присвячена розробці нових технологій створення полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення з високим рівнем теплофізичних та фізико-механічних властивостей та невисокою собівартістю за рахунок використання недефіцитних вихідних компонентів і спрощення технології переробки у вироби є безумовно актуальною.

Підтвердженням актуальності запропонованих у даній роботі досліджень є виконання дисертаційної роботи на кафедрах хімічного машинобудування, машинобудування та інженерної механіки і інноваційної інженерії ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» в рамках цілого ряду науково-дослідницьких тем: № 08/110399 «Підвищення працездатності обладнання шляхом розробки нових композиційних матеріалів, оптимізації конструктивних рішень і високоефективних методів обробки деталей»; № 08/160190 «Енергетичні комплекси поглинання та акумулювання сонячної енергії на основі полімерних колекторів та полімер-неорганічних теплоакумуючих матеріалів» (№ держ. реєстрації 0108U001155); № 08/190599 «Моделювання технологічних процесів та дослідження нових матеріалів для підвищення довговічності та технологічності обладнання» (№ держ. реєстрації 0119U002310); №

08/200699 «Моделювання апаратурно-технологічного оформлення ресурсоощадних процесів» (№ держ. реєстрації 0120U102541).

Достовірність і ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

Основні наукові положення, висновки та рекомендації в роботі обґрунтовані в достатній мірі. Достовірність результатів та висновків дисертаційної роботи, одержаних здобувачем, не викликають сумнівів та базуються на великому обсязі теоретичних і експериментальних даних, одержаних за допомогою комплексу сучасних методів досліджень (ІЧ-спектроскопія, скануюча електронна мікроскопія, рентгенографічний і термогравіметричний аналіз тощо) та їх статистичній обробці з використанням системи автоматизованого проектування MathCAD.

Наукова новизна роботи полягає у розробці науково-технічні основ технології виготовлення термостійких ПКМ на основі фенілону С1, фторопласту-4, дифенілолсульфон-формальдегідного олігомеру (ДФСФО), наповнених силікагелем з можливістю спрямованого регулювання їх теплофізичних, фізико-механічних і трибологічних властивостей, деталі з яких зберігають працездатність при високому рівні навантажень, швидкостей ковзання і температур.

В роботі розроблено науково-технічні основи ресурсоощадної технології виготовлення виробів з термостійких ПКМ на основі фенілону С1, фторопласту-4, ДФСФО, що дозволяє відмовитись від операції механічного суміщення вихідних компонентів полімерних композицій і проводити її на стадії синтезу наповнювача силікагелю. Це призводить до значного спрощення і здешевлення технології отримання ПКМ і дозволяє підвищити на 25-35% якість розподілення наповнювача у об'ємі полімерів, сприяючи при цьому покращенню умов взаємодії на границі розділу фаз полімер-наповнювач. Виявлено закономірності структуроутворення наповнювача силікагелю при синтезі у присутності дрібнодисперсних частинок

фенілону С1, фторопласту-4, ДФСФО, які полягають у його формуванні як в об'ємі гелю, так і на поверхні дисперсних частинок полімерів, що сприяє зміні морфології частинок силікагелю зі сфероподібних на ламілярно-стрічкові. Виявлено закономірності зміни теплофізичних, фізико-механічних та трибологічних властивостей розроблених ПКМ на основі фенілону С1, фторопласту-4, ДФСФО та силікагелю в залежності від варіювання їх складів та технологій отримання з визначенням граничних інтервалів експлуатації. Виявлено особливості зміни морфології та структури сталеві поверхні тертя після фрикційної взаємодії з розробленими ПКМ, які полягають у створенні дискретного антифрикційного покриття, що сприяє покращенню умов тертя розроблених матеріалів та приводить до значного збільшення їх зносостійкості. Отримано математичні залежності, що описують вплив навантажень і швидкостей ковзання на тертя та зношування розроблених ПКМ на основі фенілону С1 та фторопласту-4, як в області досліджених значень, так і поза неї.

Значна частина наукових результатів отримана дисертантом вперше і вносить значний вклад у розвиток технології полімерних і композиційних матеріалів. Наукову новизну роботи підтверджено трьома патентами України на винахід.

Практичне значення одержаних результатів

Полягає у створенні ПКМ на основі фенілону С1, фторопласту-4, ДФСФО і силікагелю, які отримані за ресурсозберігаючою технологією і здатні працювати у конструкційних вузлах машин і механізмів при навантаженнях до 260 МПа і температурах до 400°C.

Практичне значення роботи підтверджено результатами промислових випробувань деталей з розроблених ПКМ у вузлах тертя та герметизації технологічного обладнання. Використання ущільнень з ПКМ на основі фторопласту-4 у вузлах тертя та герметизації валу апарату з тихохідною мішалкою дозволило підвищити довговічність цього вузла у 3,7 разів.

Використання розроблених ПКМ на основі фенілона С1 в якості підшипників ковзання у вузлах тертя посівного комплексу “John Deere 1780” та стрільчастих лап культиваторів для просапних культур дозволило покращити надійність цих вузлів за рахунок усунення явища наклепу на поверхні металевих валів та покращення їх довговічності у роботі у 1,5 разів. Використання розроблених ПКМ в якості напрямних втулок траверси пресу для переробки полімерів та накладок на напрямні ковзання рухомого стола шліфувального верстату (ОШ 143) дозволило у 2 рази підвищити їх надійність та довговічність та відмовитись від використання у цих вузлах змащувально-мастильних матеріалів.

Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес кафедри інноваційної інженерії на лабораторних заняттях з дисципліни «Технологічне обладнання для виробництва виробів з пластмас та еластомерів» і «Сучасні матеріали в машинобудуванні» для студентів спеціальностей 133 Галузеве машинобудування та 131 Технології машинобудування.

Апробація положень і результатів дисертації та повнота їх викладення в роботах, що опубліковані

Матеріали дисертаційної роботи в повній мірі апробовані на всеукраїнських та міжнародних наукових конференціях. За темою дисертаційних досліджень опубліковано 64 роботи, у тому числі 26 статей у наукових фахових виданнях (з яких 7 – у виданнях, включених до міжнародної наукометричної бази Scopus); 35 тез доповідей в збірниках наукових конференцій; 3 патенти України. Автореферат і опубліковані у наукових виданнях праці повністю відображають зміст дисертації, основні результати та наукову новизну. Зміст автореферату та основних положень дисертаційної роботи Кабата О.С. ідентичні та оформлені згідно вимог МОН України.

Структура та зміст дисертації

Дисертаційна робота складається зі вступу, 8 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Матеріали викладено на 344 сторінках і містять 12 таблиць, 113 рисунків та 8 додатків. У бібліографії наведено 320 найменувань.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи; відзначено зв'язок дисертаційних досліджень з науковими програмами, планами і темами та особистий внесок здобувача; сформульовані мета і основні задачі досліджень, наукова новизна і практичне значення одержаних результатів; приведені відомості про апробацію роботи та її структуру.

Перший розділ роботи присвячений детальному аналізу науково-технічної літератури як вітчизняних так і іноземних джерел за тематикою дисертації. В результаті його проведення відповідно до рівня властивостей, критеріїв собівартості та розповсюдженості обґрунтовано вибір полімерних матриць (фенілон С1, фторопласт-4 і ДФСФО), наповнювача (силікагель) та технології їх переробки у вироби для створення термостійких ПКМ триботехнічного призначення.

Слід відмітити, що при написанні даного розділу автор досить широко використовує сучасні джерела науково-технічної літератури, які написані за останні 10 років.

У **другому розділі** представлена докладна інформація, яка характеризує об'єкти дослідження полімерні матриці (фенілон С1, фторопласт-4, ДФСФО) та наповнювач силікагель. Приведена технологія отримання наповнювача силікагелю з високим ступенем хімічної чистоти з натрій силікату розчинного, який підкислювали соляною кислотою. Описані стандартні технології переробки та обладнання для отримання ПКМ на основі прес-порошків полімерів (фенілон С1, фторопласт-4, ДФСФО) та силікагелю. Приведені методи досліджень структури, теплофізичних, фізико-механічних та трибологічних властивостей вихідних матеріалів та ПКМ на їх основі. Слід відмітити, що автор використовує сучасні методи досліджень,

такі, як ІЧ-спектроскопія, скануюча електронна мікроскопія, рентгенографічний і термогравіметричний аналіз тощо, що дозволяє адекватно оцінювати властивості розроблених ПКМ.

У **третьому розділі** приведено теоретичне обґрунтування технології отримання силікагелю в присутності дрібнодисперсних прес-порошків полімерів фенілону С1, фторопласту-4 таДФСФО. Приведено теоретичне обґрунтування доцільності використання суміщення (*in situ*) вихідних компонентів розроблених полімерних композицій на стадії синтезу наповнювача у порівнянні із стандартним механічним суміщенням на підготовчій стадії переробки ПКМ у виробі. Теоретично та експериментально доведено, що отримані при цьому органічно-неорганічні композити мають високий ступень гомогенізації вихідних компонентів, нестандартну морфологію і структуру та відрізняються кращими умовами взаємодії на границі розділу фаз полімер – наповнювач за рахунок сил, які виникають при його усадженні й охопленні частинок полімерів при синтезі наповнювача. Розроблена технологія отримання полімерних композицій на основі фенілона С1, фторопласту-4, ДФСФО та силікагелю з використанням суміщення (*in situ*) їх вихідних компонентів на стадії синтезу наповнювача та визначені її основні технологічні параметри.

Четвертий розділ присвячено дослідженню морфології та структури розроблених термостійких ПКМ. В результаті проведення ІЧ-спектроскопічних досліджень встановлено, що взаємодія силікагелю з фенілоном С1 відбувається за рахунок створення водневих зв'язків між «силанольними» групами на поверхні наповнювача з полярними молекулами полімеру. Визначено, що морфологія наповнювача у ПКМ, отриманих за допомогою суміщення (*in-situ*) вихідних компонентів полімерних композицій відрізняється від стандартного силікагелю. Так, у цих матеріалах він має, як звичайну для силікагелю сферичну, так і ламілярно-стрічкову морфологію, що пояснюється особливостями його синтезу в присутності дрібнодисперсних частинок полімерів. Доведено, що силікагель у ПКМ,

отриманих за допомогою суміщення (in-situ) має більш упорядковану структуру, у порівнянні з стандартним, з умістом різної кількості поліморфних модифікацій діоксиду кремнію, а саме α -кварцу, α -кристобаліту та α -тридиміту.

У п'ятому розділі розроблено та оптимізовано технологічні параметри переробки у вироби отриманих термостійких ПКМ. При цьому на підготовчому етапі переробки визначено оптимальний час перемішування та якість розподілення силікагелю у полімерних композиціях на основі фенілону С1, фторопласту-4 та ДФСФО, які отримані за різними технологіями. Проведені дослідження із встановлення оптимального тиску та часу витримки при формуванні суцільних брикетів з розроблених полімерних композицій. На основному етапі переробки визначено оптимальні температури та час сушки брикетів з розроблених полімерних композицій. Відповідно до значень фізико-механічних властивостей визначені оптимальні тиски, температури та час витримки при пресуванні виробів з термостійких ПКМ на основі фенілону С1, фторопласту-4, ДФСФО, та силікагелю. На заключному етапі переробки розроблених ПКМ у вироби приведені рекомендації щодо їх фінішної обробки на станках металорізальної групи з підбором різального інструменту та визначенням основних параметрів різання (подача, глибина, швидкість різання) в результаті проведення досліджень сил різання при точінні заготовок з розроблених ПКМ на основі фенілону С1 та ДФСФО.

Шостий розділ присвячено встановленню впливу складів та технології отримання термостійких ПКМ на експлуатаційні властивості виробів з них. В результаті проведення теплофізичних та фізико-механічних дослідження розроблених ПКМ визначено, що введення силікагелю у фенілон С1, фторопласт-4 та ДФСФО сприяє їх 10-25% покращенню, що обумовлено фізичною та хімічною взаємодією молекул досліджених полімерів з активною поверхнею наповнювача, унаслідок якої спостерігається підсилююча дія наповнювача на полімер і обмежується рухомість

макромолекул полімерів при дії на них температури. Установлено закономірності впливу технологій отримання термостійких ПКМ на їх теплофізичні та фізико-механічні властивості. Так, матеріали, отримані за допомогою суміщення (in-situ) вихідних компонентів полімерних композицій, мають на 10-20 % вищий рівень властивостей порівняно з стандартно отриманими, що пояснюється кращим розподілом наповнювача в об'ємі полімеру, зміною структури ПКМ та покращення за рахунок цього взаємодії на границі розділу фаз полімер-наповнювач.

Сьомий розділ присвячено дослідженням трибологічних властивостей виробів з термостійких ПКМ при фрикційній взаємодії із сталлю. В результаті досліджень вибрано оптимальні структурні (від 40 до 50 HRC) та морфологічні (0,32 до 0,6 мкм за Ra) параметри сталевих зразків при терті з розробленими ПКМ. Відповідно до значень коефіцієнтів тертя у парі тертя розроблений ПКМ-сталь вибрані оптимальні режими її притирання (для матеріалів на основі фенілона С1 $P = 1,25$ МПа, $V = 1,25$ м/с, на основі фторопласту-4 $P = 2,00$ МПа, $V = 1,50$ м/с) та в залежності від вмісту наповнювача у полімерах визначено шлях ковзання необхідний для притирання досліджених пар тертя. Проведено оптимізацію складів розроблених ПКМ з точки зору трибологічних властивостей у результаті якої встановлено, що найменший рівень тертя ($f_{TP} = 0,16 \div 0,17$) і зношування ($I_{H1} = 20 \div 25 \times 10^{-9}$ м/м) мають ПКМ на основі фенілону С1 та фторопласту-4, наповнених 10 % силікагелю. Визначено причину покращення трибологічних властивостей при введенні силікагелю у фенілон С1 та фторопласт-4, яка є свідченням морфологічних і структурних перетворень у зоні тертя при фрикційній взаємодії розроблених ПКМ зі сталлю, які полягають у виникненні в результаті трибохімічних реакцій стабільного дискретного покриття на сталевій поверхні, що сприяє покращенню трибологічних властивостей досліджених пар тертя. Експериментально визначено вплив навантаження, швидкості ковзання та температури навколишнього середовища на тертя та зношування розроблених ПКМ при фрикційній

взаємодії із сталлю і отримані математичні залежності, які описують його. Знайдено граничні значення інтервалів експлуатації виробів з них при фрикційній взаємодії зі сталеву поверхню без та зі змащуванням. Так, для матеріалів на основі фенілону С1 і фторопласту-4 вони дорівнюють $P = 15$ МПа, $V = 1,5$ м/с та $P = 10$ МПа, $V = 1,5$ м/с відповідно.

У восьмому розділі приведені рекомендації щодо застосування виробів з розроблених термостійких ПКМ на основі фенілона С1, фторопласту-4 та ДФСФО у конструкційних та трибологічних вузлах машин і механізмів. Приведено порівняльний аналіз властивостей розроблених матеріалів з найкращими закордонними аналогами, сталями та кольоровими металами. Приведені результати промислових випробувань розроблених матеріалів на підприємствах ТОВ «Т КОРП ГРУП», ТОВ «КОДАЦЬКЕ-АГРО», НПП «СОЮЗ-КОМПОЗИТ», ТОВ «ХІМПОСТАЧ ДНІПРО», ТОВ «ІНТЕР АВІА ІНВЕСТ». Установлено економічну доцільність використання деталей з розроблених ПКМ у вузлах тертя і герметизації консольного вала апарата з тихохідною механічною мішалкою, гідравлічного преса для переробки полімерних матеріалів, посівного комплексу «John Deere 1780» та культиваторів для обробки просапних культур.

Зауваження

Незважаючи на високий рівень дисертаційної роботи, є ряд зауважень, а саме:

1. У підрозділі 1.3 “Обґрунтування вибору наповнювача для термостійких ПКМ триботехнічного призначення” не були розглянуті деякі традиційні наповнювачі, для матеріалів трибологічного призначення, такі як дисульфід молібдену та нітрид бору.
2. У підрозділі 2.1 “Характеристики вихідних матеріалів” для синтезованого силікагелю не приведено одну з основних характеристик дисперсних наповнювачів – питома поверхня.

3. У підрозділі 2.3 “Методи досліджень вихідних матеріалів та ПКМ на їх основі” було б доцільно більш докладно описати методики проведення трибологічних досліджень при терті розроблених матеріалів у мастилі і воді та при дії різних температур.

4. У розділі 4 “Дослідження морфології та структури термостійких ПКМ” бажано було б привести ІЧ-спектроскопічні дослідження матеріалів на основі фторопласта-4 таДФСФО, які наповнені силікагелем.

5. У розділі 6 “Вплив складів та технології отримання термостійких ПКМ на експлуатаційні властивості виробів з них” було б непогано привести дослідження впливу дисперсності частинок силікагелю на рівень фізико-механічних та теплофізичних досліджень виробів з розроблених ПКМ.

6. У розділі 7 “Трибологічні властивості виробів з термостійких ПКМ”, на мій погляд, було б доцільно привести порівняльні дослідження трибологічних властивостей розроблених ПКМ з відомими аналогами.

7. З роботи не зовсім зрозуміло за рахунок чого розширюються граничні інтервали експлуатації виробів з розроблених ПКМ у бік більших навантажень і температур.

Наведені вище зауваження не знижують загального позитивного враження від роботи, а можуть бути предметом дискусії та побажаннями для подальшої творчої дослідницької роботи.

Висновок

Дисертаційна робота Кабата Олега Станіславовича «Науково-технічні основи технології виготовлення термостійких полімерних композиційних матеріалів триботехнічного призначення» є завершеною науковою роботою, основні положення якої не викликають заперечень. Здобувачем вирішено важливе науково-практичне завдання в області технології полімерних та композиційних матеріалів - розробка науково-технічних основ технології виготовлення термостійких ПКМ з низькою собівартістю, доступністю виробництва в умовах підприємств України та кращим рівнем властивостей,

які працюють при високих рівнях навантажень, швидкостей ковзання і температур.

Вважаю, що за актуальністю, науковою новизною отриманих результатів їх достовірністю та практичною значимістю робота відповідає вимогам пп. 9, 10, 12 Положення про "Порядок присудження наукових ступенів", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24.07.2013, а її автор Кабат Олег Станіславович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.06 – технологія полімерних та композиційних матеріалів.

Головний науковий співробітник
Державного підприємства "Український
науково-дослідний конструкторсько-
технологічний інститут еластомерних
матеріалів і виробів" Державного
концерну "Укроборонпром", с.н.с. д.т.н.

В.С. Євчик

Тітущенко Євчик В.С. затверджую:
Михайлик Максим



Відсутні зауваження до списку Д 08.07.2014
19.04.2014

Володимир
сергій
Шмакорогенко Н.П.

