

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Стрельченка Владислава Юрійовича

«Розробка антикавітаційних зносостійких полімерних композитів для збільшення ресурсу роботи засобів водного транспорту»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
132 «Матеріалознавство»

Дисертація є науковим рукописом, який містить 4 розділи, основні висновки та список проаналізованої літератури. Загальний обсяг роботи становить 245 сторінок разом із рисунками, таблицями і додатками.

Актуальність теми дисертації.

На сьогодні полімерні композитні матеріали широко використовують у вигляді конструкційних виробів або захисних покриттів для підвищення експлуатаційних характеристик обладнання загального та спеціального призначення. Такі матеріали повинні характеризуватися поліпшеними фізико-механічними властивостями, що дозволить підвищити надійність їх експлуатації в умовах дії кавітації та гідроабразивного зношування засобів транспорту. У цьому плані перспективним є використання полімерних матеріалів і покриттів на епоксидній основі, які відзначаються підвищеними адгезійними і когезійними характеристиками.

Загальновідомо про значний вплив природи і об'ємного вмісту пластифікаторів та наповнювачів на властивості композитів, у тому числі і кавітаційну та зносостійкість. Перспективним напрямком полімерного матеріалознавства є розроблення армованих композитів на епоксидній основі, наповнених дисперсними частками різної фізичної природи. Підтверджено, що введення наповнювачів забезпечує поліпшення фізико-механічних властивостей композитних матеріалів у комплексі, таких як міцність, жорсткість, ударна в'язкість та ін. Такі композити експлуатують у широкому діапазоні температур і циклічних навантажень. Водночас на сьогодні актуальною є проблема щодо використання активних наповнювачів, які не лише підвищують показники когезійної міцності композитів, але й дозволяють формувати матеріали, які забезпечують збільшення міжремонтного ресурсу експлуатації деталей в умовах впливу кавітації і гідроабразивного зношування. Останнє є особливо актуальним при розробці матеріалів, призначених для захисту засобів морського та річкового транспорту.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Здобувачем виконано комплекс випробувань в межах виконання держбюджетної прикладної теми «Розробка зносостійких модифікованих епоксипластів для ремонту і підвищення надійності морського транспорту та техніки військового призначення» (№ д/р 0123U102016) у Херсонській державній морській академії впродовж 2023-2025р.р.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

У дисертації обґрунтовано наукові положення із застосуванням інтегрованої методології, яка охоплює теоретичне моделювання, експериментальні дослідження в лабораторіях та випробування в реальних умовах. Ефективність запропонованих композитних матеріалів підтверджено експериментальним шляхом завдяки зіставленню їхніх захисних характеристик із традиційними складами в умовах, наближених до реальної експлуатації. Механічні показники, зокрема когезійна та адгезійна міцність, визначено згідно з уніфікованими процедурами, що відповідають вимогам ISO та ASTM. Надійність отриманих даних забезпечено завдяки статистичному аналізу результатів багаторазових вимірювань із розрахунком довірчих інтервалів, дисперсії та показників відтворюваності.

Практичні рекомендації щодо технології нанесення покриттів сформульовано на основі їхньої апробації на реальних об'єктах водного транспорту. Відповідність отриманих результатів завданням дослідження підтверджується логічною побудовою роботи та стабільною відтворюваністю експериментальних даних. Таким чином, усі наукові висновки та положення дисертації є належно обґрунтованими й характеризуються високим ступенем достовірності, що підкріплено практичними результатами та їхньою статистичною значущістю.

Наукова новизна отриманих результатів.

Автором виявлено, що характер впливу дисперсних наповнювачів на структуроутворення епоксидних композитів визначається їхніми розмірними параметрами. Для нанорозмірних частинок (вуглецеві нанотрубки, наносажа) провідним є механізм формування просторових агрегатів, причому застосування ультразвукової обробки запобігає спонтанній агрегації та сприяє утворенню рівномірної тривимірної сітки наповнювача. Це забезпечує підвищення модуля пружності та зниження швидкості повзучості матеріалу. Для мікрочастинок (Cr_2O_3 , SiC) визначальною є модель концентрованих суспензій, за якою основну роль відіграють гідродинамічні взаємодії між частинками. Покращення властивостей досягається за рахунок збільшення об'ємної частки твердої фази та зменшення відстані між частинками, що обмежує рухливість полімерних ланцюгів.

Також уперше із застосуванням алгоритмів машинного навчання розроблено математичні моделі, які дозволяють прогнозувати абсолютні значення окремих характеристик (механічних показників, теплостійкості) епоксидних композитів залежно від вмісту наповнювача без проведення експериментальних досліджень. Запропоновано методику визначення вагових коефіцієнтів для кожної властивості, причому різні ML-методи продемонстрували узгодженість щодо ранжування важливості факторів. Встановлено відсутність прямих лінійних кореляцій між досліджуваними властивостями, що підтверджує складну багатфакторну природу процесів структуроутворення.

Практичне значення отриманих результатів.

Запропоновано технологічний процес нанесення та отвердіння захисних покриттів, що включає підготовку матеріалу за допомогою ультразвукової обробки, формування виробу методом вакуумної інфузії та полімеризацію за оптимізованими температурно-часовими режимами.

Створено та впроваджено на промисловому судні R/V «MED SURVEYOR» новітнє гібридне композитне покриття, стійке до кавітації та зношування. Матеріал складається з епоксидної матриці, модифікованої аліфатичною смолою для підвищення еластичності, дисперсних нано- та мікророзмірних наповнювачів, а також армуючих шарів із базальтової та вуглецевої тканин. Розроблена технологія формування цього покриття (із визначенням конкретних параметрів температури та часу витримки) забезпечила суттєве покращення експлуатаційних характеристик: ударна міцність зросла у 4,6–4,8 разів, а стійкість до абразивного зношування – у 1,5–1,7 разів порівняно з традиційними матеріалами. Крім того, розроблені склади та методики впроваджено в освітній процес Херсонської державної морської академії під час підготовки аспірантів за спеціальністю 132 «Матеріалознавство».

Повнота викладу в наукових публікаціях, що відповідають темі дисертації.

У процесі роботи над дисертацією опубліковано 12 наукових праць, у тому числі: 2 статті у міжнародних журналах, які входять до бази даних Scopus, 2 статті у фахових виданнях України, 8 тез доповідей у збірниках наукових конференцій.

Особистий внесок здобувача.

Здобувачем особисто здійснено аналітичний огляд науково-технічної літератури за тематикою дослідження, сформульовано мету, завдання та основні напрями роботи. Автором обґрунтовано комплексний підхід до створення нових епоксидних композитних матеріалів, що поєднує теоретичне моделювання, лабораторні експерименти та натурні випробування.

Безпосередньо здобувачем виконано експериментальні дослідження з розробки складів композицій, оптимізації вмісту нано- та мікродисперсних наповнювачів, підбір режимів ультразвукової обробки та вакуумної інфузії. Проведено випробування фізико-механічних властивостей (міцність, адгезія, ударна в'язкість, зносостійкість) згідно з чинними стандартами ISO та ASTM.

Автор у співпраці з науковим керівником встановив закономірності впливу дисперсних наповнювачів на структуроутворення в епоксидних композитах. Із застосуванням реологічних моделей пояснено механізми зміни властивостей залежно від розміру частинок. Уперше з використанням алгоритмів машинного навчання здобувачем розроблено математичні моделі для прогнозування властивостей композитів, визначено вагові коефіцієнти та доведено відсутність прямих лінійних кореляцій між досліджуваними характеристиками. Також автором уперше виявлено синергетичний ефект при багатошаровому армуванні тканинами

різної природи та обґрунтовано механізм підвищення зносостійкості за рахунок формування нанотрубками міцного поверхневого каркасу.

Здобувачем розроблено технологічну схему формування та полімеризації покриттів, яка пройшла апробацію на діючому об'єкті водного транспорту. Особисто взято участь у впровадженні розробленого гібридного покриття на судні R/V «MED SURVEYOR» та у навчальний процес Херсонської державної морської академії.

Статистичну обробку експериментальних даних, аналіз та узагальнення отриманих результатів, формулювання наукових положень і висновків дисертації виконано автором самостійно. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать основна ідея, постановка задач, проведення ключових експериментів та інтерпретація одержаних результатів. Апробація основних положень роботи на наукових конференціях та підготовка публікацій за темою дисертації здійснені автором особисто.

Оцінка змісту дисертації.

У вступі автором обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет наукового пошуку. Здобувачем окреслено методологічні підходи до вирішення поставлених завдань, які гуртуються на комплексному поєднанні теоретичного моделювання, лабораторного експерименту та натурних випробувань. Здійснено постановку наукової проблеми щодо створення новітніх епоксидних композитних матеріалів з підвищеними антикавітаційними та зносостійкими властивостями для потреб водного транспорту. Сформульовано робочу гіпотезу про можливість досягнення синергетичного ефекту при поєднанні нано- та мікродисперсних наповнювачів з багатошаровим армуванням тканинами різної природи.

I розділ. У першому розділі дисертаційної роботи здійснено аналітичний огляд науково-технічної літератури, присвяченої питанням розробки та застосування захисних композитних матеріалів в умовах експлуатації об'єктів водного транспорту. Зокрема, здійснено аналіз умов експлуатації та основних чинників руйнування матеріалів у водному середовищі. Проаналізовано основні механізми деградації захисних покриттів та конструкційних матеріалів, визначено найбільш критичні ділянки руйнування корпусів суден, гребних гвинтів та інших елементів, що контактують з водою.

Додатково здійснено огляд існуючих захисних матеріалів та покриттів. Систематизовано інформацію щодо сучасних лакофарбових матеріалів, металевих та неметалевих покриттів, які застосовуються для захисту об'єктів водного транспорту. Виконано порівняльний аналіз їх експлуатаційних характеристик: хімічної стійкості, зносостійкості, адгезійної міцності, ударної в'язкості, довговічності. Окрему увагу приділено полімерним композиційним матеріалам на основі епоксидних смол, які демонструють високий потенціал для створення захисних покриттів завдяки технологічності та можливості цілеспрямованої модифікації властивостей.

На завершальному етапі зроблено висновки з огляду літератури та обґрунтування напрямку дослідження. Сформульовано основні напрямки дисертаційного дослідження, спрямовані на створення нових гібридних епоксидних композитів з підвищеними антикавітаційними та зносостійкими властивостями для потреб водного транспорту.

II розділ. У другому розділі дисертаційної роботи наведено інформацію про вихідні компоненти для створення композитних матеріалів, описано методики їх підготовки, технологічні режими формування зразків, а також сучасні методи дослідження структури та властивостей розроблених композитів, включаючи статистичну обробку результатів та застосування алгоритмів машинного навчання.

При цьому наведено фізико-хімічні властивості компонентів для створення гібридних епоксидних композитів: епоксидний зв'язувач, пластифікатор у вигляді аліфатичної смоли, нано- і мікророзмірні дисперсні наповнювачі, армуючі компоненти у вигляді тканин різної природи. Окремо описана технологія підготовки компонентів та формування зразків. Описано методики випробувань згідно з чинними стандартами. Можна стверджувати, що у даному розділі у повній мірі узагальнено інформацію про обрані матеріали та методи дослідження, підтверджено їх відповідність поставленим завданням та сучасним вимогам до проведення наукових досліджень у галузі матеріалознавства. Застосування стандартизованих методик забезпечує достовірність, відтворюваність та можливість порівняння отриманих результатів з даними інших авторів.

III розділ. У третьому розділі дисертаційної роботи наведено результати експериментальних досліджень впливу вмісту пластифікатора на фізико-механічні, реологічні та теплофізичні властивості епоксидних композитів, а також результати математичного моделювання з використанням алгоритмів машинного навчання для прогнозування оптимальних складів матеріалів.

Зокрема, розглянуто роль пластифікації у формуванні структури епоксидних композитів. Обґрунтовано вибір аліфатичної смоли як пластифікатора, що забезпечує підвищення еластичності, ударної міцності та тріщиностійкості матеріалу за збереження достатньої жорсткості та теплостійкості. Визначено діапазони варіювання вмісту пластифікатора на основі аналізу літературних даних та попередніх експериментів.

Досліджено реологічні характеристики епоксидних композицій залежно від концентрації пластифікатора. Визначено динамічну в'язкість, межі текучості, час життєздатності композицій. Встановлено, що введення пластифікатора знижує в'язкість системи, покращує змочувальну здатність та технологічність при формуванні багатошарових армованих матеріалів методом вакуумної інфузії. Побудовано реологічні криві течії, наведено результати випробувань механічних властивостей зразків із різним вмістом пластифікатора.

Додатково наведено результати моделювання впливу пластифікатора і наповнювачів на властивості композитів із застосуванням ML-алгоритмів. Цей підрозділ є ключовим у розділі та містить результати застосування методів машинного навчання для аналізу та прогнозування властивостей композитів. Автором створено експериментальну базу даних, яка включає результати випробувань зразків із різним вмістом пластифікатора та наповнювачів. Визначено

вхідні ознаки та цільову змінну (теплостійкість) для прогнозування. Описано процедуру застосування різних ML-алгоритмів. Здійснено оцінку точності та валідацію моделей. Розроблені ML-моделі дозволяють з високою точністю передбачати властивості матеріалів залежно від вмісту пластифікатора, що суттєво скорочує обсяг експериментальних досліджень при створенні нових композитних матеріалів.

IV розділ. У четвертому розділі дисертації наведено результати комплексного дослідження впливу різних схем армування на фізико-механічні характеристики композитів. Розглянуто варіанти армування базальтовими, вуглецевими тканинами та їх гібридними комбінаціями у різній послідовності шарів. Досліджено деформаційну поведінку композитів в умовах тривалого статичного навантаження та встановлено закономірності повзучості залежно від схеми армування. Визначено оптимальні схеми укладання шарів, які забезпечують мінімальну швидкість повзучості та максимальну стабільність розмірів. Проведено випробування на гідроабразивну зносостійкість в умовах, що моделюють реальну експлуатацію об'єктів водного транспорту. Виявлено синергетичний ефект при поєднанні базальтової та вуглецевої тканин, який забезпечує підвищення зносостійкості у 1,5–1,7 разів порівняно з однотипним армуванням. Обґрунтовано механізм підвищення зносостійкості, який полягає у формуванні вуглецевими нанотрубками міцного поверхневого каркасу, що зменшує глибину проникнення абразивних частинок. Розроблено оптимальний склад гібридного композиту на основі пластифікованої епоксидної матриці, наповненої нанотрубками та мікрочастинками Cr_2O_3 . Відпрацьовано технологічні параметри формування багат шарових покриттів методом вакуумної інфузії, включаючи режими ультразвукової обробки для рівномірного розподілу нанонаповнювачів. Визначено оптимальні температурно-часові режими отвердіння, які забезпечують максимальну густину зшивки та стабільність властивостей. Проведено порівняльний аналіз розроблених матеріалів з відомими аналогами, який підтвердив їх переваги за комплексом експлуатаційних характеристик. Встановлено, що розроблений композит забезпечує підвищення ударної в'язкості у 4,6–4,8 разів та зносостійкості у 1,5–1,7 разів порівняно з традиційними покриттями. Узагальнено результати досліджень та сформульовано рекомендації щодо практичного застосування розроблених матеріалів для захисту об'єктів водного транспорту.

Питання і зауваження по дисертації.

1. В першому розділі дисертаційної роботи в таблиці 1.4 вказано, що час тверднення композитних матеріалів за температури 25 °C становить 1-2 год, однак водночас не зрозуміло, яка смола використовується і який ступінь структурування забезпечено за таких умов.

2. В першому розділі дисертаційної роботи в заголовку таблиці 1.5 «Вплив типів фізичних зв'язків на властивості композитів» зазначено вплив ковалентного типу зв'язку на властивості, однак ковалентний тип зв'язку не відноситься до фізичних зв'язків.

3. На ст. 40 зазначено, що «пластифікатори збільшують рухливість макроланцюгів». Доцільніше було б речення подати в наступній редакції «пластифікатори збільшують рухливість сегментів макроланцюгів», оскільки у випадку введення пластифікатора покращується рухливість лише частини макромолекули.

4. В другому розділі ст. 77 зазначено, що «Змішування виконується ручним способом за допомогою дриля зі спеціальною мішалкою (600...800 об/хв) впродовж 3...5 хв». В такому випадку потрібно вказати, що змішування проводять механічним способом, а не ручним. Зустрічають невдалі терміни: «вдавлювання» (ст. 86) замість втискування, «часток» (ст. 95) замість «частинок».

5. В третьому розділі подано серію рисунків (3.1, а; 3.1, б; 3.2, а; 3.2, б; 3.3, а; 3.3, б; 3.4, а; 3.4, б), однак в описі не має окремих посилань на ці рисунки, що ускладнює розуміння процесів та їх аналіз.

6. На ст. 112 зазначено, що на етапі полімеризації ДЕГ-1 виступає «додатковим активатором фізико-хімічної взаємодії». Водночас в роботі не зустрічаються результати структурних досліджень, які б підтвердили таке твердження.

Відсутність порушення академічної доброчесності

На підставі детального аналізу тексту дисертаційної роботи, а також змісту опублікованих наукових праць здобувача підтверджено, що дисертаційне дослідження виконано самостійно. Усі наукові положення, висновки та рекомендації, що виносяться на захист, є оригінальним авторським доробком. За результатами перевірки роботи із використанням спеціалізованих програмних засобів встановлено відсутність академічного плагіату, неправомірних запозичень або самоплагіату. Зміст дисертації повністю відповідає вимогам академічної доброчесності, визначеним Статтею 42 Закону України «Про освіту», зокрема щодо коректного цитування, достовірності результатів та самостійності виконання дослідження.

Висновок про дисертаційну роботу

Дисертаційна робота Стрельченка Владислава Юрійовича «Розробка антикавітаційних зносостійких полімерних композитів для збільшення ресурсу роботи засобів водного транспорту» є актуальним, ґрунтовним, послідовним, самостійним, завершеним науковим дослідженням, яке є важливим для теорії і практики та містить наукову новизну, що свідчить про оволодіння здобувачем методології наукової діяльності.

Відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота Стрельченка Владислава Юрійовича «Розробка антикавітаційних зносостійких полімерних композитів для збільшення ресурсу роботи засобів водного транспорту» має актуальність, новизну, обґрунтованість, достовірність, відсутність порушень принципів академічної доброчесності. Дисертаційна робота відповідає спеціальності 132 «Матеріалознавство» та

Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у вищих навчальних закладах (наукових установах), затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261, Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», а її автор, Стрельченко В.Ю., заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії (PhD) з галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 132 «Матеріалознавство».

Офіційний опонент:

к.т.н., професор, професор кафедри
матеріалознавства Луцького національного
технічного університету



Віталій КАШИЦЬКИЙ

