

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертацію **Зубка Юрія Євгеновича**
«Оптимізація процесів виробництва та використання волокон, мікрофібри та мікросфер, отриманих методом перегрітих розплавів базальту»,
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.02.01 – «Матеріалознавство» (13 Механічна інженерія)

Актуальність даної роботи зумовлена стрімким зростанням попиту на високоякісні товари, виготовлені з натуральних, екологічно чистих матеріалів. Зокрема, надзвичайно перспективними є продукти, що можуть вироблятися на основі практично невичерпної, достатньо дешевої та доступної однокомпонентної природної сировини – щєбню гірських порід андезито-базальтової групи.

Незважаючи на те, що базальтові вироби володіють унікальними фізико-хімічними властивостями: високою зносостійкістю, хімічною та корозійною стійкістю, підвищеними механічними параметрами, їх використання в сучасній індустрії виробів зі скла носить обмежений характер і є невиправдано малим. Так, обсяг виробництва базальтового неперервного волокна у вартісному еквіваленті становить не більше 0,2% від світового обсягу виробництва неперервного скляного волокна.

Це значною мірою зумовлено тим, що упродовж тривалого часу для виробництва виробів із базальту здебільшого пробували використовувати схеми та технології, розроблені для виготовлення традиційних виробів зі скла. Однак, шлях адаптації скляних технологій в базальтовій індустрії виявився не цілком ефективним, що пов'язано із суттєво більшою високою температурою плавлення базальту, непрозорістю базальтового розплаву для інфрачервоних променів, складною гетерогенною структурою базальтової сировини, яка містить тугоплавкі включення, а також високою хімічною активністю базальтових розплавів.

Для вирішення описаного вище комплексу проблем, що виникають при виготовленні базальтових виробів, був запропонований метод перегрітих розплавів. Суть цього методу була описана в деяких українських та американських патентах. Вона полягає у використанні високотемпературної гарнісажної плавки базальту в індукційній печі з мідним водоохолоджуваним тиглем. Це робить можливим швидкий нагрів розплаву до температури 2300–2600 °С при одночасному інтенсивному електромеханічному перемішуванні та дегазації. В результаті на

виході з печі можна отримати високотемпературний струмінь цілком гомогенізованого аморфного базальтового розплаву, що може бути перероблений в різноманітні повністю аморфні базальтові вироби високої якості.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами

Дисертація виконана у відповідності з планами науково-дослідних робіт Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України, а дисертант був в них одним з виконавців.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, достовірність отриманих результатів

Достовірність результатів, викладених у роботі, не викликає сумніву оскільки для їх одержання використовувались методи оптичної та скануючої електронної мікроскопії та рентгеноспектрального аналізу, комп'ютерні експерименти з використанням методу статистичних випробувань (Монте-Карло), проводили тестові вимірювання механічних параметрів зразків композитів та досліджували хімічну стійкість модифікованих волокон в лужних та кислотних середовищах.

Достовірність одержаних у роботі результатів підтверджується також їх широким практичним застосуванням в різних галузях промисловості України та за кордоном.

Наукова новизна отриманих результатів

Сформульовано основні принципи методу перегрітих розплавів аморфних продуктів з базальтової сировини, який передбачає розігрів розплаву до високих температур при інтенсивному електромагнітному та конвекційному його перемішуванні, що забезпечує отримання гомогенізованого базальтового розплаву без мікрокристалічних домішок. На основі зазначеної вище технології отримано мікронаповнювач для армування матеріалів та досліджено її вплив на основні параметри міцності та зносостійкості композитів.

Методом перегрітих розплавів отримано аморфні базальтові супертонкі волокна, модифіковані силікатом цирконію ($ZrSiO_4$). Ці волокна демонструють суттєво більшу хімічну стійкість як у лужному, так і в кислотному середовищі порівняно зі зразками з немодифікованого базальту, та можуть бути використані для армування бетону на базі портландцементу

Практичне значення отриманих результатів

За допомогою розробленої технології перегрітих розплавів створено промислові партії мікронаповнювачів для композиційних матеріалів у вигляді мікрофібри, мікросфер та лускоподібних часток і доведено її ефективність з точки зору енергозатрат. Базальтова мікрофібра була використана як наповнювач при формуванні виробів, зокрема: лопатей гвинтокрила Мі-2, лопатей вентиляторної системи аеродинамічних труб, на що є акти впровадження, котрі наведено у дисертаційній роботі. Крім того, базальтова мікрофібра використана при створенні зносостійких деталей з ПТФЕ на заводі ТЗОВ «НВП Пластополімер».

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 18 наукових праць, з яких 1 стаття у науковому виданні, включеному до категорії "А" Переліку наукових фахових видань України, що індексується у базах даних Web of Science та SCOPUS, 3 у вітчизняних виданнях, які входять до переліку наукових фахових видань МОН України, 1 патент на винахід США, 8 тез доповідей на міжнародних конференціях та симпозіумах та 5 патентів України на корисну модель.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел (217 найменування на 1 авторському аркуші, п'яти додатків (на 1,4 авторських аркушах), містить 23 таблиць, 53 рисунків. Основний текст роботи викладено на 5,7 авторських аркушах. Загальний обсяг роботи становить 8,7 авторських аркуша. Автореферат дисертації містить 1,2 авторських аркушів, в тому числі список із 18 робіт, опублікованих за темою дисертації. Об'єм та структура дисертаційної роботи відповідає вимогам МОН України до кваліфікаційних робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, показано зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульовано мету та задачі досліджень, охарактеризовано наукову новизну та практичну цінність роботи.

У **першому розділі** проаналізовано літературні дані щодо основних відомих методів плавлення гірських порід та технологій переробки розплаву в базальтові

вироби. Описано основні типи печей для плавки базальтових порід, їх переваги та недоліки. Дано опис основних фізичних та хімічних процесів, що відбуваються під час плавки гірських порід у печах різного типу, розглянуті показники їхньої енергоефективності та екологічної безпеки.

Наведено та проаналізовано основні чинники, що серйозно ускладнюють технологічний процес отримання якісних безперервних та штапельних волокон на основі гірських порід із використанням традиційних для виробництва скла газових ванних печей. Сформульовано та описано метод перегрітих розплавів, що дозволяє отримувати промислові партії високоякісних продуктів із 100% аморфного базальтового скла.

У **другому розділі** дослідженню застосування базальтового штапельного волокна у вигляді теплоізоляційного матеріалу для високотемпературних трубопроводів та агрегатів. Створено програму для обчислення теплових потоків через поверхню теплоізоляції, а також визначення температури на зовнішній поверхні теплоізоляції, що враховує залежність коефіцієнту теплопровідності від температури. Вона була використана для знаходження значень товщини теплоізоляції, які б відповідали заданим тепловим потокам та температурам.

На основі проведених розрахунків було складено таблиці рекомендованих товщин теплоізоляції залежно від діаметру трубопроводу та температури носія. Ці результати є оптимальними з погляду фінансових витрат та використовуються на промислових об'єктах України.

У **третьому розділі** дано опис продуктів на основі спеціальним чином виготовлених базальтових супертонких волокон, що призначені для виконання робіт із вогнезахисту, тепло- та звукоізоляції об'єктів методом пневматичного укладання. Описано основні переваги пневматичного укладання теплоізоляції перед ручним.

Також запропоновані бюджетні варіанти теплоізоляційних сумішей на основі гранульованої теплоізоляції з додаванням негранульованих супертонких волокон. Отримані ізоляційні суміші, відзначаються значно кращими теплоізоляційними, звукоізоляційними та вогнезахисними характеристиками, порівняно з їхніми гранульованими прототипами.

Показано, що деякі з розроблених сумішей можуть використовуватися у вигляді ефективного, екологічно та біологічно чистого субстрату для вирощування рослин методом гідропоніки.

У **четвертому розділі** досліджували волокна базальтоподібного складу, модифіковані силікатом цирконію ($ZrSiO_4$). Для вирішення завдання отримання подібних модифікованих волокон використовували метод перегрітих розплавів. Отримано дослідно-промислові партії модифікованих супертонких волокон з ваговим вмістом $ZrSiO_4$ 10-40%.

Мікроморфологічний та мікрозондовий аналіз зразків волокон, отриманих на основі шихти з різним вмістом силікату цирконію, показав їх абсолютну однорідність по будові і хімічному складу.

Результати досліджень перебування волокон в розчинах NaOH, HCl та воді, вказують на значно вищу хімічну стійкість модифікованих волокон порівняно з їхнім прототипом з чистого базальту.

У **п'ятому розділі** розроблено та досліджено новий різновид армуючих мікронаповнювачів для композиційних матеріалів на основі подрібнених механічним способом мікро-, ультра- та супертонких мінеральних волокон.

Досліджено вплив базальтової мікрофібри на механічні властивості 3D-армованих композитів на основі деяких типів полімерних матриць, зокрема, епоксидних та політетрафторетиленових (ПТФЕ). Встановлено, що додавання мікрофібри позитивно впливає на міцність і зносостійкість композиційних матеріалів. Наведено приклади використання базальтової мікрофібри при виготовленні захисних покриттів, ремонтних сумішей, лопатей для гвинтокрилів та аеродинамічних труб.

Окремо розглянута можливість використання подрібнених відходів виробництва БСТВ у вигляді наповнювачів для композиційних матеріалів.

У **шостому розділі** описано створену на основі методу перегрітих розплавів промислову енергоефективну одностадійну технологію виготовлення мікросфер із базальту.

Виконано порівняльний аналіз властивостей мікросфер із базальту, вапняно-натрійового (а-скло) та алюмоборосилікатного (е-скло) скла, що демонструє системні переваги продукції на основі базальту. Надано опис основних сфер потенційного використання базальтових мікросфер та наведено приклади їх використання при створенні абразивостійких та антиковзних покриттів для металевих та бетонних поверхонь.

Досліджено задачу про знаходження ступеня максимального хаотичного наповнення простору сферами однакового діаметру. Встановлено, що ступінь

максимального хаотичного заповнення простору сферами одного діаметру не залежить від величини діаметру сфер, а визначається лише розмірністю простору. Це дало змогу сформулювати рекомендації з приготування сумішей на основі полімерних матриць та базальтових мікросфер, які придатні для формування композиційних виробів методом лиття під тиском.

В той же час необхідно відзначити деякі **недоліки** рецензованої роботи, а саме:

1. Деякі твердження автора, зокрема про вплив високотемпературного плавлення базальту на інтервал виготовлення волокон та їх механічні характеристики мають лише якісне загальнофізичне обґрунтування. Було б надзвичайно важливо наявно побачити результати конкретних вимірювань основних фізико-хімічних параметрів неперервних базальтових волокон отриманих лабораторними методами.

2. В роботі наведено значний об'єм інформації про вплив базальтової мікрофібри на фізико-механічні властивості композиційних матеріалів, однак практично зовсім відсутня відповідна інформація стосовно базальтових мікросфер.

3. Відсутнє дослідження впливу середньої довжини та діаметру моноволокон мікрофібри на основні механічні параметри композиційних матеріалів на основі найбільш поширених полімерних матриць.

4. Не досліджено вплив силікату цирконію на параметри отримання неперервних волокон та їх фізичних властивостей.

5. Інформація про композиційні матеріали на основі алюміній-титанових матриць та базальтових мікронаповнювачів є надзвичайно цікавою, але вона має дуже обмежений і попередній характер та потребує подальшого розвитку.

6. В роботі наведено достатньо великий список з перерахування можливих застосувань базальтової мікрофібри та мікросфер. Однак, перелік реальних напрямків їх застосування на сьогодні є значно вужчий. Дисертанту необхідно було б детальніше обґрунтувати основні вектори впровадження запропонованих в роботі розробок.

Висловлені зауваження не знижують цінності наукових результатів роботи та їх практичного значення.

Загальний висновок по роботі

На підставі вищенаведеного вважаю, що дисертаційна робота Зубка Юрія Євгеновича є завершеним науковим дослідженням, що містить одержані автором нові наукові та прикладні результати в галузі матеріалознавства, які розв'язують наявну науково-технічну задачу отримання гомогенізованого розплаву гірських порід андезито-базальтової групи та подальшої його переробки у високоякісні аморфні волокна та мікросфери.

Автореферат повною мірою відображає зміст та основні положення дисертаційної роботи, а робота загалом за своїм обсягом, актуальністю, науковим рівнем, новизною, а також достовірністю і практичною цінністю отриманих результатів повністю відповідає вимогам пунктів 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» (постанова Кабінету міністрів України від 24.07.2013, №567) та Вимогам до оформлення дисертації (Наказ МОН України від 03.02.2017, №40), а автор дисертації, Зубко Юрій Євгенович, заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

Офіційний опонент:

завідувач кафедри транспортних технологій

та механічної інженерії Херсонської державної
морської академії МОН України,

Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки,

Заслужений діяч науки і техніки України,

доктор технічних наук, професор

А.В. Букетов

Підпис професора А.В.Буєтова за підписом

Проректора з науково-педагогічної роботи

Херсонської державної морської академії

к.т.н., професор



А.ІІ. Бень