

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Михайла Олександра Вікторовича

**«Особливості деформування п'єзопасивних і п'єзоактивних композитних тіл
із тріщинами та кутовими точками»,**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 113 Прикладна математика

Актуальність теми дисертації.

Проблеми, що розглянуті в дисертаційній роботі Михайла О.В. є, без сумніву, актуальними, оскільки композиційні матеріали дуже широко використовуються на практиці і часто причиною їх руйнувань є дефекти на межі поділу матеріалів – тріщини, включення і т.п. На теперішній час існує велика кількість робіт, в яких досліджена тріщина між двома пружними ізотропними матеріалами. При цьому, як правило, вважається, що тріщина повністю відкрита, що викликає осциляцію напружень біля вершин тріщини. Така осциляція є небажаною, оскільки призводить до фізично нереального взаємопроникнення берегів тріщини. Існуючі методи її усунення не завжди є прийнятними для композитних з'єднань за допомогою тонких адгезійних шарів невисокої жорсткості, що часто мають місце при створенні біматеріальних з'єднань. Тому потребують подальшої розробки методики врахування локальних зон біля вершин тріщин для таких з'єднань в ізотропних, ортотропних та п'єзоелектричних біматеріалах.

Також актуальним є питання розвитку підходів до визначення степені особливості напружень та їх полів в околі кутових точок для біматеріальних тіл скінченних розмірів будь-якої геометричної форми. Особливо це важливо для випадків, коли кутові точки знаходяться в областях стику різнорідних матеріалів, що часто зустрічається на практиці і приводить до більш складної поведінки компонент пружно-деформівного стану, ніж для однорідних матеріалів. Оскільки вищевказані проблеми набули подальшого розвитку в даній дисертаційній роботі, то її тематику можна вважати актуальною і практично важливою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Актуальність дисертаційного дослідження підтверджується тим, що воно проводилося у відповідності з планами наукових досліджень в науково-дослідній лабораторії механіки руйнування та пластичного деформування матеріалів кафедри

теоретичної та прикладної механіки механіко-математичного факультету Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара в рамках держбюджетної теми 1-335-18 «Розрахункові моделі п'єзоелектричних та п'єзоелектромагнітних композитів з тріщинами на межі поділу матеріалів», номер державної реєстрації № 0118U003302, 2018–2020 рр.

Формулювання наукової задачі, для якої в дисертаційній роботі знайдений новий розв'язок. *Мета роботи* полягає в розвитку методів дослідження зон передруйнування тріщини в тонкому прошарку, що з'єднує два ізотропні, анізотропні або п'єзоелектричні матеріали, а також аналізу напружено-деформівного стану в околі кутових точок з'єднань з різних матеріалів у тілах скінченних розмірів.

Для досягнення цієї мети автор виконав наступні *завдання*:

- побудував зручні представлення компонент пружно-деформівного стану на межі поділу ізотропних, анізотропних та п'єзоелектричних матеріалів через кусково-аналітичні функції;
- з використанням цих представлень сформулював та аналітично розв'язав задачі лінійного спряження, що відповідають різним моделям привершинних зон тріщин у таких матеріалах;
- визначив розподіли напружень, стрибків переміщень та електричного поля на межі поділу матеріалів. Виходячи з аналізу коефіцієнтів інтенсивності (KI) цих факторів, задовольнив необхідним нерівностям і знайшов довжини зон передруйнування;
- застосував метод скінченних елементів (МСЕ) до розв'язання модельних задач для тіл скінченних розмірів, а також запропонував чисельно-аналітичний спосіб знаходження степені особливості та коефіцієнта при особливості розв'язку в кутовій точці композитної області.

Вважаю, що

- *Об'єкт дослідження* – задачі визначення напружено-деформованого стану композитних матеріалів в околі тріщин та кутових точок, та
- *Предмет дослідження* – привершинні зони тріщин та кутових точок на межі поділу різнорідних матеріалів адекватно відображають коло завдань, які розв'язуються в даній роботі.

Наукова новизна отриманих автором результатів. Вважаю, що наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. *Запропонована нова методика усунення фізично нереальної осциляційної особливості для тріщини між двома ізотропними та/або ортотропними матеріалами, з'єднаними тонким адгезійним прошарком.*
2. *Розроблено чисельно-аналітичний підхід до визначення степені особливості та коефіцієнтів при особливостях напружень в околі кутових точок біматеріальних тіл.*
3. *Запропонована модель для визначення параметрів руйнування тріщини зсуву, що виникає біля кутових точок області, складеної із двох різнорідних прямокутників різного розміру.*
4. *Розроблена нова методика знаходження коефіцієнтів інтенсивності напружень для електропровідної міжфазної тріщини в п'єзоелектричному біматеріалі при напрямку його поляризації, паралельному берегам тріщини, під дією віддаленого механічного навантаження та електричного поля.*

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені в роботі методи й алгоритми дозволяють досліджувати особливості поведінки механічних та електричних полів в ізотропних, ортотропних та п'єзоелектричних біматеріалах із міжфазними тріщинами. Отримані в явному вигляді формули для коефіцієнтів інтенсивності напружень та для швидкості звільнення енергії дозволяють оцінити вплив механічних напружень та електричного поля на ці величини і тим самим сприяють підвищенню тріщиностійкості композитних конструкцій. Отримані в роботі точні аналітичні розв'язки описують локальні зони поблизу тріщин і кутових точок, вони можуть слугувати еталонними при розробці й апробації чисельних методів розв'язання задач вказаного класу для тіл кінцевих розмірів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, що захищаються. Дисертаційна робота відповідає вимогам до досліджень такого рівня. Роботу виконано на належному науковому рівні.

Вважаю, що одержані результати в достатній мірі є обґрунтованими і достовірними. Це забезпечується коректністю постановок задач, використанням точних методів теорії функцій комплексної змінної для їх розв'язання, порівняннями в окремих випадках із відомими точними розв'язками. Додає впевненості в правильності розроблених методик порівняння результатів, що отримані за допомогою методу скінченних елементів з відповідними розрахунками, проведеними на основі отриманих аналітичних розв'язків.

Особистий внесок здобувача. Усі результати дисертаційної роботи, що

виносяться на захист, отримані автором особисто або за його безпосередньої участі. Дисертаційна робота є завершеним дослідженням, виконаним автором самостійно відповідно до програми його досліджень. Зокрема, дисертантом проведено пошук та аналіз літературних джерел; побудовані аналітичні розв'язки сформульованих разом із науковим керівником задач; проведений чисельний експеримент; отримані розв'язки тестових задач методом скінченних елементів.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота містить вступ, огляд літератури, 4 розділи, висновки та список використаних джерел, що містить 108 найменувань на 12 сторінках. Загальний обсяг дисертації – 114 сторінок, обсяг основного тексту – 102 сторінки. Робота містить 21 рисунок та 9 таблиць.

У вступі та огляді літератури проведено аналіз публікацій за проблематикою дисертації та визначено внесок досліджень інших авторів до розвитку цього напрямку.

У першому розділі розроблена модель привершинної зони для тріщини між двома матеріалами в біматеріальному анізотропному просторі під розтягувально-зсувним навантаженням на нескінченності.

У другому розділі розглядається тріщина на межі розділу двох різнорідних напівнескінченних ізотропних просторів під дією віддалених нормальних та зсувних напружень. Метод скінченних елементів застосовується до аналогічної задачі для області скінченних розмірів.

У третьому розділі розв'язано задачі для тіл скінчених розмірів, які присвячено проблемі дослідження впливу кутових точок на стику двох матеріалів на пружно-деформівний стан та його особливості в околі цих точок.

У четвертому розділі запропоновано нову модель зони передруйнування для електропровідної міжфазної тріщини в п'єзоелектричному біматеріалі, поляризованому в напрямку, паралельному берегам тріщини та ортогональному її фронту.

Висновки по роботі чіткі, логічні і впливають із теоретичних даних та результатів чисельних експериментів, отриманих автором.

Проте до дисертаційної роботи є деякі **зауваження**.

1. У формулі (2.36) використовуються чотири різні швидкості звільнення енергії. В наступних розділах роботи для подібних ШЗЕ використовуються назви «локальна», глобальна та сумарна. Слід було б ці поняття і назви визначити і в розділі 2, тобто при першому використанні вказаних типів ШЗЕ.

2. При описанні рівнів згущення скінчено-елементної сітки на рисунках 3.2-3.4 не зрозуміло, якій частині області 3.2 відповідає область 3.3, а також, якій частині області 3.3 відповідає область 3.4. Слід було б границі областей на відповідних рисунках якимось чином позначити, наприклад виділити пунктирною лінією.
3. У розділі 4 розглядається задача усунення осцилюючої особливості для електрично провідної та електрично проникної міжфазних тріщин при напрямі поляризації п'єзоелектричних матеріалів, паралельному берегам тріщини. При цьому для першого випадка приведений досить широкий чисельний аналіз, а для другого випадку він зовсім відсутній. Чим це пояснюється? Чи можна провести аналогічний аналіз і для другого випадку?
4. У пункті 1.5 при чисельній ілюстрації аналітичного розв'язку для тріщини між двома ортотропними матеріалами той матеріал, що розташований нижче, обирається ізотропним. З чим це пов'язано? Чому цей матеріал також не ортотропний відповідно до постановки задачі?»
5. У роботі є деякі описки, що не впливають на розуміння тексту дисертації.

Висловлені зауваження не знижують позитивної оцінки роботи в цілому, а також розроблених автором основних наукових положень, висновків та отриманих результатів проведених досліджень.

Зміст дисертації відповідає вимогам, що висувуються до наукових робіт такого рівня. Текст дисертації є оригінальним, а її структура цілком узгоджується з назвою, метою і завданням дослідження. Зміст та результати дисертації відповідають спеціальності 113 Прикладна математика.

Загальний висновок. Враховуючи актуальність, новизну, важливість одержаних автором наукових результатів, їх обґрунтованість і достовірність, а також практичну цінність сформульованих положень і висновків, вважаю, що дисертаційна робота Михайла Олександра Вікторовича «Особливості деформування п'єзопасивних і п'єзоактивних композитних тіл із тріщинами та кутовими точками», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика відповідає встановленим вимогам відповідно наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», «Порядку присудження ступеня

доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. зі змінами від 21.03.2022), а її автор Михайл Олександр Вікторович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук, професор,
професор кафедри прикладної математики
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»



Тетяна КАГАДІЙ

Підпис професора Кагадій Т.С.
засвідчую

Вчений секретар Вченої ради
НТУ «Дніпровська політехніка»



Таїсія КАЛЮЖНА