

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Піскозуба Йосифа Збігнєвича

«Структурно-модульний метод функцій стрибка дослідження деформування біматеріалів з тріщинами і фізично нелінійними тонкими включеннями»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

Актуальність дисертації та її зв'язок з державними науковими програмами.

Одним з найперспективніших сучасних наукових проектів експерти називають отримання нових матеріалів, створених безпосередньо із заданих молекул та атомів, який можна вважати поглибленим розвитком технології 3D-друку. У зв'язку із цим немає сумнівів у його успішній реалізації у більш чи менш віддаленому майбутньому. Відтак вже з огляду на велику складність математичного моделювання механічних процесів та властивостей таких структур (яка все ще залишається гостро актуальною проблемою теорії матеріалознавства) вже тепер треба створювати відповідний математичний апарат вирішення цієї проблеми механіки деформівного твердого тіла. На даному етапі розвитку теорії МДТТ доцільно серед усього іншого зосередитися на створенні математичних моделей широкого спектру застосування до вивчення та методів їхнього аналізу, придатних для вивчення структурно-неоднорідних тіл з урахуванням присутності у них різномасштабних структур на основі різноманітних ускладнених конститутивних рівнянь. Для інженерного проектування структурно неоднорідних середовищ, таких як, наприклад, композити, особливе значення мають контактні задачі, що вивчають поведінку і вплив включень всередині таких структурованих матеріалів.

З'ясування НДС композиту важливе для оцінки його руйнування та міцності, еволюції пошкодженості і аналізу динамічного демпфування. Теорія

та практика конструювання й використання прогресивних композиційних матеріалів з плоскою арматурою дають безперечні докази того, що їх міцність на розтяг у трансверсальному напрямку у випадку однонапрявленого армування стрічками значно перевищує міцність таких же композитів, армованих волокнами. Плоске армування покращує технологічність, механічні властивості композиту, збільшує коефіцієнт армування, опір до порушення герметичності, зменшує статистичний розкид запроєктованих властивостей. Це свідчить про велику перспективність застосування композитів зі стрічковою арматурою. Однак на даний час питання використання достатньо адекватного опису нелінійного деформування тонких структурних елементів композитів, особливо в умовах появи залишкових напружень за різного типу і режимів навантажування-розвантажування, залишається практично недослідженим.

На сьогодні важливою і математично складною є також проблема опрацювання загальних підходів та методів розв'язування задач для аналізу складних композитних систем з неklasичними маловживаними структурними елементами арматури, до яких належить стрічкова арматура. Запропонована до захисту дисертаційна робота з математичного моделювання та аналітико-числового дослідження поведінки композитних тіл, які характеризуються наявністю тонких міжфазних фізично нелінійних неоднорідностей (стрічкова арматура, прошарки клею тощо), які можуть неідеально контактувати з тілом, є **актуальною** з погляду як розвитку теорії тонких неоднорідностей, так і можливостей їх практичного використання.

Робота виконана за тематикою досліджень, що проводились в межах держбюджетних тем Львівського національного університету імені Івана Франка, Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України та Української академії друкарства.

Наукова новизна дисертаційної роботи визначається як розробленим ефективним математичним інструментарієм досліджень процесів деформування, так і розв'язанням з його використанням низки класів нових задач для пружних

структурно-неоднорідних тіл з фізично нелінійними та шаруватими тонкостінними неоднорідностями. Це дало можливість здобувачу виявити і глибоко дослідити загальні практично важливі закономірності механічної поведінки таких мікроструктур в умовах різних типів, способів та режимів квазістатичного навантажування, в тому числі багатокрокового чи циклічного.

Для моделювання механічного впливу на напружено-деформований стан усієї структури (тіла), наявної у біматеріалі тонкої неоднорідності ефективними крайовими умовами стрибків напружень та переміщень, здобувач запропонував узагальнений підхід для побудови математичних моделей тонких включень довільної фізичної природи, в тому числі нелінійно пружних, пружнопластичних, рідинних, багат шарових з урахуванням впливу термодинамічної взаємодії матеріалів на межі контакту. В роботі запропоновано структурно-модульний метод функцій стрибка, який є логічним розвитком відомого методу функцій стрибка і дає можливість записати повну систему рівнянь нових ускладнених класів задач, особливо в умовах багатокрокового навантажування чи неідеального контакту складових, у вигляді комплексу окремих модулів, придатних для наступного комплексного аналітико-числового розв'язування. Хоча на відміну від застосування прямого методу функцій стрибка такий підхід і збільшує кількість рівнянь, однак вони істотно простіші, а тому й легші у побудові і їхня числова реалізація є значно простішою. Оскільки формулювання і форма отриманих рівнянь двох із трьох модулів є цілком незалежними і вони пов'язані між собою виключно співвідношеннями третього модуля (переважно дуже простого), це значно полегшує опрацювання математичного апарату і програмного забезпечення для розв'язування не тільки окремих конкретних задач, як і нових споріднених класів задач. Завдяки запропонованому інкрементально-ітераційному підходу вперше розв'язано нові класи задач для фізично нелінійних та багат шарових включень, а також задач для врахування неідеального контакту з невідомими апріорі зонами проковзування за умов багатокрокового навантажування. Отримані автором для широкого спектру комбінацій складових

матеріалів, конститутивних законів деформування матеріалів включення, способів навантажування, шаруватості включення, умов неідеального контактування складових структур та поведінки узагальнених коефіцієнтів інтенсивності напружень в околі неоднорідності є новими і їх можна застосувати для проектування нових матеріалів чи оптимізації режимів експлуатації таких мікроструктур.

Крім того, врахування можливості існування додаткових поверхневих напружень на межах контакту включення-прошарку з матрицею, забезпечило можливість застосувати методи розв'язування задач макромеханіки для тіл із тонкими прошарками у сфері мікро- та наномеханіки композитів.

Обґрунтованість і достовірність результатів дисертації забезпечується коректним застосуванням математичного апарату й апробованих рівнянь лінійної та фізично нелінійної теорій пружності; застосування математично вивірених та строгих співвідношень теорії сингулярних інтегральних рівнянь і асимптотичних розвинень за докладно перевіреної у числових експериментах стійкості ітераційних підходів та фіксації меж придатності запропонованих моделей; контрольним розв'язуванням вивчених іншими дослідниками задач; зіставленням отриманих результатів у часткових і граничних випадках із вже відомими розв'язками інших авторів; відповідністю результатів розв'язування нових задач фізичній суті досліджуваних явищ. Вірогідність результатів обчислень забезпечено перевіркою їх практичної точності у числових експериментах, спрямованих на окреслення достатніх параметрів редукції безмежних систем лінійних алгебричних рівнянь; отриманням у граничних випадках вже відомих розв'язків відповідних задач; збігом окремих результатів з відомими у літературі, що були отримані іншими методами. Важливе і те, що для розв'язування задач розділів 3,4,5 автор застосував поряд з методом функцій стрибка запропонований ним метод і було отримано ідентичні результати.

Повнота викладу в опублікованих працях

Наукові результати, що складають зміст дисертаційної роботи, належно повно відображені у достатній кількості публікацій у наукових журналах, які згідно з вимогами ДАК МОН України визнано фаховими. Серед публікацій 5 статей опубліковано у високорейтингових англomовних міжнародних журналах з кuartилями Q2, Q3. З урахуванням кuartильності видань відпо-відно до класифікації SCImago Journal and Country Rank кількість наукових публікацій, які розкривають основний зміст дисертації, становить 22. Осно-вні результати роботи отримані автором самостійно, апробовані на наукових семінарах, вітчизняних та міжнародних конференціях і симпозиумах з меха-ніки деформівного твердого тіла.

Наукове та практичне значення роботи

Отримані у роботі теоретичні результати, дані обчислень та виявлені закономірності, можна застосувати як у теорії композитів, так і в механіці деформівного твердого тіла, механіці руйнування, матеріалознавстві, геофізиці тощо. Запропонований здобувачем ефективний інкрементально-ітераційний алгоритм розв'язування задач з фізичними чи геометричними нелінійностями властивостей дає можливість високоточного аналізу напруженого стану тіл із тонкими неоднорідностями в умовах довільного силового чи дислокаційного багатокрокового навантаження. У поєднанні з цим алгоритмом структурно-модульний метод функцій стрибка забезпечив підстави вивчення впливу нелінійних властивостей тонких неоднорідностей на поля напружень та деформацій у тілах. Побудовано універсальні моделі тонких неоднорідностей та тріщин з урахуванням комплексного впливу різних фізичних нелінійностей, які забезпечують врахування повного спектру механічних властивостей матеріалу включення. Розглянута неідеальність контакту у вигляді можливого відшарування у невідомих апріорі зонах контакту з проковзуванням чи без, наявність поверхневих напружень істотно розширює перелік відповідних моделей у межах теорії тонких неоднорідностей.

Зауваження

1. На мою думку, було би доцільно об'єднати розділи 3 та 4 як споріднені за постановкою задачі та способом отримання розв'язку.
2. На рис. 5.1 (стор. 207) є описка – замість G_{xz}^{in}, G_{yz}^{in} мало бути G_x^{in}, G_y^{in} .
3. Для позначення гвинтової дислокації (рис. 6.1 на стор. 235) вжито невласливе позначення.
4. В роботі деколи трапляються описки та дрібні граматичні хиби ((неузгодженість відмінків та ін.).

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Загальний висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам

В цілому, вважаю дисертаційну роботу Піскозуба Йосифа Збігневича цілісним та завершеним дослідженням, в якій математично вивірено розв'язана актуальна і складна наукова проблема розроблення математичних моделей і методів дослідження механічних полів у біматеріалах з тонкими фізично нелінійними неоднорідностями з урахуванням неідеальності контактної взаємодії елементів структури і впливу поверхневої енергії для довільного типу і режиму квазістатичного навантажування-розвантажування. Сформульована мета дослідження успішно досягнута. Текст автореферату та дисертації написано зрозуміло та доступно для фахівців у МДТТ, добре та оформлено згідно з чинними вимогами, виклад змісту добре структуровано та викладено на високому науковому рівні. Зміст автореферату цілком відповідає змісту дисертації та повною мірою відображає її основні положення.

За обсягом виконаних досліджень, новизною отриманих результатів, їх теоретичним та практичним значенням дисертаційна робота на тему «Стру-

ктурно-модульний метод функцій стрибка дослідження деформування біматеріалів з тріщинами і фізично нелінійними тонкими включеннями» безперечно відповідає вимогам ДАК МОН України щодо дисертацій, які подаються на здобуття наукового ступеня доктора фізико–математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла, а її автор, Піскозуб Йосиф Збігнєвич, заслуговує надання йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук з цієї спеціальності.

Офіційний опонент, професор кафедри вищої математики
Львівського національного університету імені Івана Франка

доктор фіз.-мат. наук, професор



О.В. Максимук

