

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 обраної теми дисертації

Сучасні інноваційні технології дуже часто вимагають використання нових композиційних матеріалів, які дають можливість поєднувати малу питому вагу з високими параметрами міцності, тривкості, а також є наділені іншими істотно покращеними властивостями. Це забезпечує покращення експлуатаційних властивостей інженерних конструкцій різноманітного призначення, підвищення інтенсивності допустимих режимів експлуатації тощо. Такі нові властивості вдається досягти певним розподілом армувальних елементів, зокрема тонких волокон та стрічок. Окремі тонкі включення чужорідного матеріалу чи системи таких включень можуть вводитися у структуру матеріалу цілеспрямовано для забезпечення певних передбачених проектом технологічних функцій, спрямованих на покращення параметрів конструкції (підкріплення, різноманітні давачі для неперервного моніторингу внутрішнього стану конструкції тощо). Порушення контакту між складовими елементами композитів (поява тріщин, втрата адгезії, фрикційне проковзування тощо) також можуть істотно змінити експлуатаційні властивості конструкцій, а це вимагає вивчення впливу таких явищ на розподіл напружень та деформацій.

З'ясування можливих закономірностей у таких процесах є надзвичайно важливим для проєктантів високоміцних композиційних матеріалів. Сучасні

технології передбачають використання новітніх матеріалів із структурами, наділеними нелінійними фізико-механічними властивостями, чи виготовленими з градієнтно-функційних матеріалів. Особливої уваги в сучасній техніці та технологіях набувають також мікро- та наноелементні структури у таких галузях як мікроелектроніка, біотехнології, енергетика, озброєння та ін.

Для теоретичного вивчення деформування структур з тонкостінними компонентами або неоднорідностями необхідно оперувати ефективними моделями та методами дослідження відповідних задач механіки деформівного твердого тіла. Часто під час розроблення аналітико-числових методів дослідження таких структур виходять із моделювання тонких неоднорідностей знесеними на їх серединну поверхню стрибками польових величин. Ефективність такого підходу продемонстрована переважно у задачах лінійної теорії пружності за ідеальних умов контактування складових елементів. Щодо формулювань відповідних задач з урахуванням фізико-механічної нелінійності тонких включень чи їх неідеального контактування з матрицею, то відомі у літературі розв'язки стосуються лише задач механіки тріщин з врахуванням контакту їх берегів чи з відомою наперед зоною проковзування та окремих вузьких класів тонких прошарків та відшарувань. На сьогодні важливою і математично складною є проблема розроблення загальних підходів та методів розв'язування задач для аналізу складних композитних систем з неklasичними структурними елементами. Запропонована до захисту дисертаційна робота з математичного моделювання та аналітико-числового дослідження поводження композитних тіл, які характеризуються наявністю тонких міжфазних фізично нелінійних неоднорідностей, 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 Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України та Української академії друкарства.

Наукова новизна дисертаційної роботи

Оригінальність результатів роботи визначається як розробленим ефективним математичним інструментарієм досліджень процесів деформування, так і розв'язанням з його використанням цілого класу нових задач для пружних композитних тіл з фізично нелінійними та шаруватими тонкостінними неоднорідностями. Це дало можливість Автору виявити і глибоко дослідити загальні практично важливі закономірності поведінки таких мікроструктур в умовах різних типів та різноманітних режимів навантажування, в тому числі багатокрокового чи циклічного.

Застосовуючи принцип спряження континуумів різної розмірності для моделювання тонкої неоднорідності ефективними крайовими умовами стрибків напружень та переміщень, Автор розробив узагальнений підхід для побудови математичних моделей тонких включень довільної фізичної природи, в тому числі нелінійно пружних, пружнопластичних, рідинних, багатошарових. Відомий з літератури метод функцій стрибка розв'язування задач для тіл з такими включеннями призводить до складних систем рівнянь, які не вдається розв'язати достатньо точно, особливо в умовах багатокрокового навантажування чи неідеального контакту складових. Тому в роботі запропоновано структурно-модульний метод функцій стрибка, який дає можливість записати повну систему рівнянь задачі у вигляді комплексу окремих незалежних модулів, придатних для наступного аналітико-числового розв'язування. На відміну від застосування прямого методу функцій стрибка такий підхід збільшує кількість рівнянь, однак вони істотно простіші, а тому й легші у побудові і їхня числова реалізація є значно простішою. Крім того, оскільки формулювання кожного із трьох модулів є цілком незалежним, це значно полегшує опрацювання математичного апарату і програмного забезпечення для розв'язування не тільки окремих конкретних задач, як і нових споріднених класів задач.

Для врахування багатокроковості навантажування та нелінійності механічних властивостей матеріалу включення запропоновано низку допоміж-

них методик. Це забезпечило можливість вперше розв'язати нові класи задач для фізично нелінійних та багатошарових 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.

Врахування можливості існування додаткових поверхневих напружень (в межах базової концепції функцій стрибка) на межах контакту включення-прошарку з матрицею, забезпечило цілком природну можливість перенести методи розв'язування задач макромеханіки для тіл із тонкими прошарками у сферу мікро- та наномеханіки композитів.

Обґрунтованість і достовірність результатів дисертації

Усі наукові результати і висновки дисертаційної роботи належно обґрунтовані внаслідок використання засадничих положень лінійної та нелінійної теорії 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.

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.

Повнота викладу в опублікованих працях

Зауваження

1. З огляду на велику обчислювальну складність задач бажано було б у дисертації приділити більше місця питанням обґрунтування числової збіжності обчислень і точності виконаних розрахунків.

2. Робота не містить прикладів розрахунку напружень для включень із реальних матеріалів із складними нелінійними властивостями, хоча практична реалізація цього автору цілком доступна і багато часу не вимагала би. Така інформація була б корисною для інженерів та проєктантів нових композиційних матеріалів.

3. Розроблений метод містить в собі потенційну можливість дослідження включень зі змінюваними властивостями вздовж їхньої довжини, однак Автор не використав таку можливість.

4. У дисертаційній роботі практично відсутні таблиці, а це було б корисним при зіставленні отриманих результатів з розв'язками, отриманими іншими методами.

5. Праця містить невдалі терміни (наприклад, замість «інтегральне представлення» доцільно вживати «інтегральне подання» чи «інтегральне зображення»). Можна зустріти не дуже вдалі вирази, наприклад, сила прикладена до тріщини, стиснені тріщини, відбувається проковзування з урахуванням тертя тощо.

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 ретельно і 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 неідеально-

Наукові результати, що складають зміст дисертаційної роботи, повно відображені у достатній кількості публікацій у наукових журналах, які згідно з вимогами ДАК МОН України визнано фаховими. Серед публікацій 5 статей опубліковано у високореєтингових англomовних міжнародних журналах. Основні результати роботи отримані автором самостійно, апробовані на проблемних наукових семінарах, вітчизняних та міжнародних конференціях і симпозиумах з механіки деформівного твердого тіла.

Наукове та практичне значення роботи

Отримані у роботі теоретичні результати, включно з даними обчислень та виявленими закономірностями, можна застосувати як у теорії композитів в межах мезо- чи мікромеханіки, так і в наномеханіці чи геомеханіці, мікроелектроніці, механіці руйнування, матеріалознавстві тощо. Запропонований автором 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 забезпечив підстави раціонального опису впливу нелінійних властивостей тонких неоднорідностей на поля напружень та деформацій у тілах. Побудовано моделі тонких неоднорідностей та тріщин з урахуванням комплексного впливу різних фізичних нелінійностей, що істотно поглиблює змістові складові теорії тонких включень. Універсальність моделей забезпечується врахуванням повного спектру механічних властивостей матеріалу включення від тріщини до абсолютно жорсткого, від ідеально пластичного до рідинного тощо. Розглянута неідеальність контакту у вигляді можливого відшарування у невідомих апіорі зонах контакту з проковзуванням чи без, наявність поверхневих напружень істотно розширює перелік відповідних моделей у межах теорії тонких неоднорідностей.

сті 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 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 «Структурно-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,
 провідний науковий співробітник відділу
 теоретичних основ механіки руйнування
 Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України,

доктор фіз.-мат. наук, професор



М.П. Саврук

