

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Калиніка Богдана Миколайовича «Аналітичне визначення термосилових навантажень, які забезпечують цільові термоапружені стани у неоднорідних тілах»,
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 науковими програмами, темами. Сучасні інноваційні технології стимулюють використання нових пружних композиційних, зокрема, функціонально-градієнтних матеріалів, які дають можливість поєднувати малу густину з високими параметрами міцності, тривкості, термостійкості, а також є наділені іншими істотно покращеними властивостями. Температурні та силові навантаження можуть суттєво впливати на зміну фізичних характеристик матеріалу, з якого виготовлені елементи конструкцій, внаслідок його взаємодії з зовнішнім середовищем. Тому важливо проектувати характеристики неоднорідних матеріалів конструктивних елементів, які тривалий час експлуатуються в умовах термосилових навантажень. Розвиток методів визначення напруженого стану, викликаного дією зовнішніх полів, у конструкціях, створених з неоднорідних матеріалів, є важливим з точки зору виявлення потенційно небезпечних щодо руйнування зон. Важливо також дослідити можливість існування та реалізації станів з відсутністю напружень або наперед заданими компонентами тензора напружень, викликаних дією зовнішніх полів, у елементах конструкцій, виготовлених з неоднорідних, зокрема, функціонально-градієнтних матеріалів.

Задачі щодо визначення умов досягнення станів з практичною відсутністю напружень є оберненими задачами теорії пружності, тобто задачами, в яких за відомим наслідком (відсутність напружень або мінімальні напруження) потрібно визначити параметри зовнішніх полів та характеристики матеріалів, які можуть забезпечувати визначений напружений стан. Отримання аналітичних розв'язків обернених задач є також актуальною проблемою.

Робота виконана відповідно до тематики наукових та прикладних досліджень, яка проводились в Інституті прикладних проблем механіки і

математики ім. Я.С. Підстригача НАН України, що детально відображені у дисертації та авторефераті.

Наукова новизна дисертаційної роботи. Найбільш вагомими науковими результатами рецензованої дисертаційної роботи, на мою думку, є:

- розвиток і адаптація математичних моделей теорії термопружності на основі інтегральних рівнянь Фредгольма 2-го роду для встановлення умов забезпечення заданого розподілу термонапружень, зокрема, їх відсутності, у неоднорідних тілах з урахуванням залежності характеристик матеріалів від однієї та двох координат;
- формулювання класу обернених задач про визначення температурних полів, які спричиняють прогнозований розподіл компоненти тензора напружень;
- побудова і дослідження розв'язків конкретних задач термопружності стосовно забезпечення відсутності термонапружень у неоднорідних тілах на основі запропонованих методик та алгоритмів;
- розроблення методики аналітичного визначення розподілу залежних від однієї та двох координат характеристик матеріалів для забезпечення відсутності напружень у тілах із заданими температурними полями.

Оригінальність результатів роботи визначається розробленим ефективним математичним інструментарієм дослідження та розв'язанням з його використанням класу нових прямих і обернених задач термомеханіки неоднорідних тіл.

Це дало можливість виявити зв'язок температурних полів, які призводять до формування цільових термонапружень, з умовами нагрівання та формуванням розподілу характеристик неоднорідних матеріалів.

Обґрунтованість і достовірність результатів дисертації. Усі наукові результати і висновки дисертаційної роботи належно обґрунтовані внаслідок використання зasadничих положень теорії термопружності на стадії моделювання кожної задачі, а також використання відомих моделей гомогенізації функціонально-градієнтних матеріалів.

Вірогідність результатів обчислень забезпечено отриманими аналітичними виразами для досліджуваних величин, які задовільняють

отримані інтегральні та диференціальні рівняння та умови на межі. Результати числових розрахунків відповідають фізичній суті досліджуваних явищ.

Загальна характеристика дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, семи розділів, висновків, двох додатків і переліку використаних джерел (382 найменування). Повний обсяг роботи – 345 сторінок.

У *вступі* подано короткий огляд роботи, дані про актуальність, наукову новизну, мету, вірогідність результатів, апробацію роботи та її теоретичне й практичне значення.

Перший розділ стосується огляду літературних джерел стосовно мети та завдання досліджень.

У *другому розділі* наведено теоретичні основи роботи. Сформульовано задачі визначення та способи забезпечення температурних полів, які створюють заданий розподіл компонент тензора напружень, зокрема нульовий, у неоднорідних тілах простої форми (шар, порожнисті куля та циліндр, прямокутний брус).

У *розділах 3,4,5* розв'язано поставлені у другому розділі прямі та обернені задачі термопружності з використанням запропонованих інтегральних рівнянь Фредгольма другого роду. Визначено способи отримання температурних полів, які спричиняють заданий розподіл компонент тензора напружень в конструктивних елементах простої форми умовами нагрівання та розподілом характеристик неоднорідного матеріалу.

У *шостому та сьомому розділах* встановлено умови відсутності термонапружень у довгому прямокутному брусі та скінченному осесиметричному циліндрі, виготовлених з матеріалу, характеристики якого залежать від двох координат. Визначено відповідні розподіли та способи забезпечення температурних полів у цих тілах, які не викликають термонапружень.

У *додатки А, Б* винесено вирази для метричних тензорів та символів Крістоффеля у різних системах координат та перелік праць, які стосуються дисертаційної роботи.

Повнота викладу в опублікованих працях. Наукові результати, що складають зміст дисертаційної роботи, повно відображені у двадцяти п'яти публікаціях у наукових журналах, які згідно з вимогами ДАК МОН України визнано фаховими. Десять статей з квартилів Q2, Q3 прореферовані у міжнародних наукометрических базах Scopus і Web of Science. Самостійно опубліковано 11 статей і 14 тез. Серед наукових праць, які засвідчують апробацію дисертації варто виділити публікацію у «Encyclopedia of Thermal Stresses». Основні результати роботи отримані автором самостійно, апробовані на проблемних наукових семінарах, вітчизняних та міжнародних конференціях і конгресах з механіки деформівного твердого тіла та термомеханіки.

Важливість для науки та практична цінність. Отримані у роботі теоретичні результати, включно з даними обчислень та виявленими закономірностями, є важливим внеском у сучасну теорію термомеханічних процесів у неоднорідних тілах, зокрема, виготовлених з функціонально-градієнтних матеріалів. Запропонований підхід зведення задачі термопружності до інтегральних рівнянь безпосереднім інтегруванням рівнянь руху та сумісності деформацій у напруженнях уможливив формульовання обернених задач визначення температурних полів, які не спричиняють термонапружені або спричиняють заданий їх розподіл у вигляді інтегральних рівнянь Фредгольма другого роду. З цих інтегральних рівнянь отримано аналітичні вирази для температури через механічні характеристики неоднорідного матеріалу, силові навантаження та коефіцієнт лінійного теплового розширення. Отримані аналітичні вирази для температури повинні задоволити задачу тепlopровідності, що робить можливим визначення відповідних умов нагрівання та характеристик функціонально-градієнтних матеріалів для отримання цільових температурних полів, а отже, і напружень.

Практична цінність роботи визначається потребою виготовлення елементів конструкцій для заданих умов їх використання.

Зауваження та побажання. До рецензованої дисертації є низка зауважень та побажань:

1. Було б цікавим урахування термочутливості матеріалу у задачі про визначення цільових розподілів термонапружень оскільки температурна залежність характеристик матеріалів може істотно вплинути на напруження.
2. Цікавим було б порівняння з експериментальними даними для підтвердження розрахунків. В роботі, на жаль, про це нічого не сказано.
3. В роботі не використані числові методи дослідження поставленої проблеми, що значно обмежує практичне застосування отриманих результатів.
4. Праця містить неістотні неточності (наприклад замість російської кальки «...перетворення ... дозволяють спростити...» краще писати «...перетворення уможливлюють спрошення...» або «...перетворення... роблять можливим (забезпечують можливість) спрошення...»); «ряд моделей» - «низка моделей» на стор. 40). Можна зустріти не дуже вдалі вирази. Наприклад «...використовувались припущення...». Можна «...використати припущення», тому що припущення само себе використати не може.

Однак зазначені зауваження зовсім не заперечують загального позитивного враження від поданої до захисту роботи та не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Загальний висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам. В цілому, вважаю дисертаційну роботу Калиніка Богдана Миколайовича цілісним та завершеним дослідженням, в якому вирішена актуальна і складна наукова проблема визначення температурних полів, які спричиняють заданий розподіл компоненти тензора напружень, та способів їх досягнення. Текст автореферату та дисертації оформлено згідно чинних вимог, виклад змісту добре структуровано та виконано на високому рівні. Зміст автореферату відповідає змісту дисертації та відображає її основні положення.

За обсягом виконаних досліджень, новизною отриманих результатів, їх теоретичним та практичним значенням дисертаційна робота «Аналітичне визначення термосилових навантажень, які забезпечують цільові термонапружені стани у неоднорідних тілах», беззаперечно 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, Калиняк Богдан Миколайович, заслуговує надання йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук із цієї спеціальності.

Офіційний опонент

Завідувач кафедри прикладної математики і фізики
Української академії друкарства
доктор фіз.-мат. наук, професор Й.З. Піскозуб

Підпис підтверджую
Вчений секретар
Української академії друкарства
Канд.техн.наук, доцент З.М.Сельменська

