

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Калиняка Богдана Миколайовича

«Аналітичне визначення термосилових навантажень, які забезпечують цільові термонапружені стани у неоднорідних тілах»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 - механіка деформівного твердого тіла

Актуальність теми дисертації

З метою покращення експлуатаційних характеристик конструкційних елементів та захисту від агресивного впливу середовища в умовах перепаду температур їх часто виготовляють з неоднорідних, зокрема функціонально-градієнтних матеріалів. При експлуатації у таких елементах виникає нерівномірний розподіл температури і з'являються напруження та деформації, які можуть спричинити або прискорити деструктивну зміну характеристик матеріалів елементів конструкцій. Дослідження впливу неоднорідності матеріалу на теплові процеси і напружений стан у неоднорідних тілах, вимог до проектування елементів конструкцій з врахуванням вимог до характеристик матеріалів та умов нагрівання, які забезпечують заданий розподіл компонент тензора термонапружень або їх відсутність, викликає суттєві труднощі. Тому є важливим розроблення методології (розвиток математичних моделей та методів розв'язування задач термомеханіки), яка дозволяє розраховувати температурні поля, умови нагрівання, характеристики неоднорідного матеріалу, які забезпечують заданий розподіл компонент тензора напружень, а також термонапружений стан неоднорідних тіл. Метою роботи Б.М.Калиняка є розвиток математичних моделей та методів визначення й аналізу напружено-деформованого стану неоднорідних пружних тіл для встановлення фізично обґрунтованих способів теплового навантаження і критеріїв вибору пружних та теплофізичних характеристик матеріалів, що забезпечують температурні поля, які з урахуванням відповідних умов термосилового навантаження спричиняють

бажаний розподіл термонапружень у неоднорідних елементах конструкцій, зокрема, їх відсутність. Актуальність досліджень для досягнення сформульованої вище мети не викликає жодного сумніву.

Дисертаційне дослідження проведено згідно з науковою тематикою Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України.

Наукова новизна дисертаційної роботи

Найважливіші результати дисертаційного дослідження, що визначають наукову новизну роботи, такі:

1) розвинуто математичні моделі 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;

2) сформульовано клас обернених задач про визначення температурних полів, які спричиняють прогнозований розподіл компоненти тензора напружень;

3) отримано аналітичні вирази для температурних полів, які спричиняють заданий розподіл компонент тензора напружень у неоднорідних тілах через механічні характеристики матеріалу, коефіцієнти теплопровідності й лінійного теплового розширення та силові навантаження;

4) отримано точні аналітичні розв'язки обернених задач для двокомпонентних ФГМ, характеристики яких описано моделлю простої суміші щодо забезпечення цільових температурних полів;

5) побудовано і досліджено розв'язки задач термопружності стосовно забезпечення відсутності термонапружень у неоднорідних тілах на основі запропонованих методик та алгоритмів.

Достовірність та обґрунтованість наукових положень та висновків

Вірогідність отриманих у роботі результатів та основних наукових положень ґрунтується на використанні відомих визначальних положень механіки деформівного твердого тіла, математичній коректності формулювань

задач та їх розв'язанням за допомогою апробованих аналітичних і числових методів, співставленням і узгодженням деяких часткових результатів із результатами, отриманими іншими авторами, задоволенням відповідних диференціальних та інтегральних рівнянь й відповідних крайових умов.

Теоретичне значення і практична цінність

Теоретичне значення дисертації полягає у вагомому внеску до розвитку термомеханіки неоднорідних тіл. У роботі запропоновано формулювання та методологію аналітичного розв'язування обернених задач термомеханіки для неоднорідних тіл простої форми (шар, порожнисті циліндр та куля), які зробили можливим визначення температурних полів, які спричиняють цільовий розподіл компонент тензора напружень або, зокрема, їх відсутність, через термомеханічні характеристики матеріалу та силові навантаження. Запропоновано спосіб створення таких полів за рахунок узгодження умов нагрівання, силових навантажень, характеристик неоднорідного матеріалу. Це призвело до необхідності інтегрування нелінійних диференціальних рівнянь з частинними похідними, розв'язки яких отримано аналітично. Врахування неоднорідності матеріалу робить можливим створювати за допомогою об'ємних теплових джерел та варіативності характеристик матеріалів температурні поля, які не викликають термонапружень. Для оцінки можливих значень термонапружень розроблено наближені методи визначення термонапруженого стану тіл простої форми, які виявились ефективними для розв'язування задач термопружності неоднорідних і термочутливих тіл.

Практична цінність результатів роботи полягає у можливості безпосереднього використання отриманих результатів, розроблених методик та розв'язків задач при проведенні інженерних розрахунків у практиці проектування реальних конструкцій.

Повнота викладу основних положень дисертації в публікаціях і авторефераті та їх апробація

Автор має великий перелік наукових публікацій, що відповідає всім вимогам до висвітлення результатів наукових досліджень у дисертації на

здобуття наукового ступеня доктора наук. За темою дисертації опубліковано 55 праць, з яких 25 статей – у фахових виданнях у галузі фізико-математичних наук із Переліку ДАК МОН України. Самостійно опубліковано 11 статей і 14 тез. Десять статей проіндексовано у міжнародній наукометричній базі Scopus. У роботі та рефераті чітко відзначено внесок автора у колективних публікаціях.

Рецензована праця має достатню апробацію на міжнародних наукових конференціях, проведених у таких країнах, як Австрія, Італія, Латвія, Польща, Тайвань та Україна.

Реферат повністю висвітлює зміст, основні ідеї, положення та результати дисертаційної роботи.

Аналіз змісту дисертаційної роботи та її результатів

Дисертація Б. М. Калиняка є завершеною науковою працею, оформленою згідно з вимогами ДАК МОН України, яка складається зі вступу, семи розділів, кожний з яких завершується висновками, загальних висновків, двох додатків та переліку використаних джерел.

У *вступі* обґрунтовується актуальність теми, формулюються мета і завдання дисертаційної роботи, показується зв'язок із науковими програмами, планами, темами, визначаються предмет і об'єкт дослідження, формулюється наукова новизна. Розглядаються теоретичне значення та практична цінність одержаних результатів, наводяться відомості про особистий внесок дисертанта, апробацію роботи, публікації та загальну структуру дисертації.

Перший розділ стосується огляду літературних джерел, в яких відображено моделі опису спричиненого полями різної природи напружено-деформованого стану неоднорідних тіл, методи розв'язування задач термопружності в неоднорідних тілах, зокрема, виготовлених з функціонально-градієнтних матеріалів (ФГМ), технології отримання виробів з ФГМ, способи опису термомеханічних характеристик ФГМ через характеристики їх складових, обернені задачі в механіці деформівного твердого тіла і їх класифікацію. З огляду літературних джерел зроблені висновки щодо

актуальності тематики досліджень, мети і завдань роботи, предмету та об'єкту досліджень.

У *другому розділі* розвинено метод безпосереднього інтегрування рівнянь термопружності стосовно отримання ключових рівнянь з використанням тензорного формалізму, поставлено обернені задачі отримання температурних полів, які спричиняють цільові напруження у неоднорідних тілах простої форми (неоднорідні шар, порожнисті циліндр та куля) у випадку залежності характеристик матеріалу від однієї і двох координат. Запропоновано способи отримання таких температурних полів, виражених через механічні характеристики матеріалу.

У *третьому розділі* аналітично визначено вигляд температурного поля через термомеханічні характеристики матеріалу, яке не викликає термонапружень у неоднорідних тілах простої форми, встановлено умови узгодження температур на поверхнях і густини потужності теплових джерел, які забезпечують потрібне теплове поле.

У *четвертому розділі* запропоновано методику визначення розподілу об'ємної частки характеристики складової двокомпонентного ФГМ, яка робить можливим забезпечення координатною залежністю характеристики ФГМ в межах моделі простої суміші температурного поля, що не спричиняє термонапружень у тілах простої форми без об'ємних теплових джерел. Аналітичні результати проілюстровано числовими прикладами.

У *п'ятому розділі* отримано аналітичні вирази для температурних полів, які спричиняють заданий термопружний стан у неоднорідних шарі, порожнистих циліндрі та кулі. Для оцінки допустимого розподілу радіальних напружень отримано наближені розв'язки задач визначення напружень у j -му шарі багатошарового термочутливого неоднорідного у кожному шарі тіла простої форми. Їх застосовано для перевірки отриманих точних виразів для температурних полів, які призводять до заданого розподілу компонент тензора напружень, оцінки величини можливих цільових напружень та дослідження термонапру-

женого стану багат шарових термочутливих та неоднорідних елементів конструкцій простої форми і тонких покриттів.

У шостому розділі отримано вирази для температурного поля, яке не викликає термонапружень у довгому прямокутному брусі з залежними від двох координат характеристиками матеріалів через термомеханічні характеристики матеріалу. Проаналізовано різні можливості отримання таких температурних полів узгодженням характеристик матеріалів та умов нагрівання.

Сьомий розділ присвячений визначенню температурного поля, яке не викликає термонапружень у скінченному осесиметричному циліндрі, виготовленому з ФГМ, характеристики якого залежать від радіальної та поздовжньої координат. Досліджено взаємозв'язок умов нагрівання та характеристик ФГМ в межах моделі простої суміші, що забезпечують згадане температурне поле у тілах простої форми.

У висновках до дисертації узагальнено одержані наукові та практичні результати, сформульовано підсумки, одержані на основі проведених числових досліджень, та окреслено можливості прикладного застосування результатів.

Перелік літературних джерел, що нараховує 382 найменування, повною мірою представляє сучасний науковий стан проблематики дослідження.

Однак до рецензованої дисертаційної роботи можна зробити деякі зауваження та побажання, зокрема:

1. У роботі розглянуто випадки отримання цільових термонапружених станів для випадку стаціонарних полів. Бажано розвинути дослідження умов реалізації залежних від часу температурних полів в обернених задачах.

2. У роботі вирази для температурного поля, яке не спричиняє термонапружень (формула (3.3), формула (6.4) та ін.), не містять таких характеристик, як модуль пружності і коефіцієнт Пуассона, хоча у в інтегральному рівнянні для визначення температурного поля вони присутні. Відповідних пояснень відсутності впливу цих характеристик на температурне поле не наведено.

3. Інтегральні рівняння Фредгольма другого роду (3.1), (3.28), (5.1) і інші з розділів 2, 3, 4, 5 для визначення температурних полів, які не викликають термонапружень або спричиняють заданий розподіл компонент тензора напружень, отримано автором з виведених ним інтегрального рівняння (2.69) для визначення термонапруженого стану порожнистого циліндра та інтегральних рівнянь для інших тіл. Однак не вказано способу отримання одних інтегральних рівнянь з інших.

4. У розділах 3 – 7 наведені приклади числових розрахунків температурних полів у елементах простої форми, виготовлених з ФГМ, способи їх реалізації визначенням відповідних густини потужності теплових джерел, характеристик матеріалів, температур на межі, коефіцієнтів теплопередачі. Однак немає досліджень впливу характеристик складових ФГМ матеріалів, умов нагрівання на розподіл температурного поля, яке спричиняє заданий розподіл характеристик термонапружень у тілах простої форми.

Зазначені зауваження не впливають на загальне позитивне враження від дисертаційної роботи.

Висновок

Дисертація Б. М. Калиняка «Аналітичне визначення термосилових навантажень, які забезпечують цільові термонапружені стани у неоднорідних тілах» є актуальним, значним за охопленням і розробленням проблематики дослідженням, спрямованим на розв'язання нагальної науково-технічної проблеми, яка полягає у проектуванні та виготовленні неоднорідних матеріалів для реальних умов їх використання в елементах конструкцій. Дисертаційне дослідження здійснено на високому рівні у відповідності з поставленою метою та завданнями. Одержані наукові та практичні результати належно представлені в публікаціях, обгрунтовані та обговорені.

Мова і стиль дисертації та технічне оформлення тексту також виконані на належному рівні.

Тема і зміст дисертаційної праці відповідають паспорту спеціальності 01.02.04 - механіка деформівного твердого тіла.

За актуальністю, науковою новизною, обсягом, теоретичним значенням та прикладною цінністю результатів, повнотою їх опублікування, дисертаційна робота «Аналітичне визначення термосилових навантажень, які забезпечують цільові термонапружені стани у неоднорідних тілах», цілком відповідає вимогам пп. 10, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р., № 567 (зі змінами і доповненнями) до докторських дисертацій, а її автор – Калиняк Богдан Миколайович – заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 - механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент
професор кафедри вищої математики
Національного університету
«Львівська політехніка»,
доктор фізико-математичних наук, професор



Роман МУСІЙ

Підпис засвідчую
Вчений секретар



Р. Брилинський