

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Рудяка Юрія Ароновича

“Оптичні експериментально-розрахункові методи визначення напружено-деформованого та граничного станів прозорих діелектриків”, подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

1.Актуальність. Розвиток машинобудування, будівництва, особливо в останні роки, досить часто пов'язаний з роботою елементів машин та конструкцій в умовах складних силових навантажень, наявності геометричних і технологічних концентраторів та під дією певних фізичних факторів (температури, вологості, радіації). При цьому, разом з такими традиційними конструктивними матеріалами, як метали, сплави металів, знаходять застосування і такі діелектрики, як органічне та неорганічне скло, епоксидна смола. Такі конструктивні елементи, як гомогенні та гетерогенні триплеки, з обрамленням і без, складові частини яких виготовлені із даних матеріалів, застосовуються у автомобілебудуванні, кораблебудуванні та авіабудуванні (ілюмінатори), а також як основний елемент оглядових вікон апаратів харчової промисловості. Сьогоднішній розвиток аналітико-чисельних методів дозволяє вирішувати надзвичайно широке коло інженерних задач. Разом з тим, не втрачають своєї актуальності і експериментальні методи, особливо стосовно дослідження реальних натурних конструкцій. Вони є джерелом як самостійної дослідницької інформації, так і можуть служити даними для тестових задач при розвитку нових чисельних методів.

Тому, тема дисертаційної роботи присвячена розробці нових оптичних методів механіки деформівного твердого тіла є актуальною.

Метою роботи є розробка експериментально-розрахункових оптичних методів визначення напружено-деформованого та граничного станів прозорих діелектриків. А це, в свою чергу, направлено на вирішення важливої наукової проблеми- підвищення ефективності та розширення функціональних

можливостей експериментальних досліджень. Запропоновані автором оптичні методи механіки – метод поглинання та метод дифузного поверхневого розсіювання, а також датчики, дія яких базується на ефекті поверхневого розсіювання, на нашу думку, насправді підвищують ефективність та розширюють можливості вирішення задач інженерної практики.

У дисертації автором поставлено ряд задач, вирішення яких було направлено на досягнення мети роботи.

Крім вже наведених вище даних, стосовно розробки методу поглинання, який використовує п'єзооптичний ефект поглинаючого середовища та методу дифузного поверхневого розсіювання, дія якого базується на перерозподілі інтенсивностей дзеркальної та дифузних складових світлового потоку, розсіяного поверхню об'єкта та відповідних моделей оптичних датчиків деформацій поверхні, запропоновано фізико-механічний критерій граничного стану діелектриків, застосування якого спрямоване на більш повне врахування на граничний стан неметалів як механічних так і фізичних чинників; модифіковано поляризаційно-оптичний метод дослідження задач механіки руйнування для таких оптично малочутливих матеріалів, як органічне та неорганічне скло.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана у лабораторіях оптичних методів експериментальної механіки Київського національного університету імені Т.Г. Шевченка, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Науково-навчального центру “Фізико-хімічне матеріалознавство” Київського національного університету імені Т.Г. Шевченка та НАН України і пов'язана із низкою госпдоговірних досліджень та роботою у рамках цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України.

Теми безпосередньо стосуються об'єкту та предмету досліджень дисертаційної роботи.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації, їх достовірність і новизна.

Основні результати і загальні висновки дисертаційної роботи одержано за допомогою використання апаратів механіки руйнування, теорій міцності та експериментальних досліджень із застосуванням традиційного поляризаційно оптичного методу і його модифікованого виду стосовно дослідження тріщиноподібних дефектів у елементах машин, виготовлених із оптично малочутливих матеріалів. Запропоновані оптичні експериментально розрахункові методи поглинання та дифузного поверхневого розсіювання базуються на адекватних фізико-механічних моделях, в основу яких покладено базові фундаментальні рівняння Максвелла, Неймана, Бугера-Ламберта-Бера. При цьому, одержані експериментальні дані порівнювались із результатами інших авторів, отриманими як експериментально, так і аналітико – чисельними методами.

4. Найважливішим науковим результатом роботи можна вважати розробку оптичних методів механіки твердого тіла (поглинання та дифузного поверхневого розсіювання), датчики деформацій поверхні, які працюють на ефекті дифузного поверхневого розсіювання, критерій граничного стану діелектриків, який дозволяє комплексно оцінити граничний стан неметалів, а також модифікований для дослідження інженерних об'єктів, виготовлених із прозорих оптично малочутливих матеріалів, поляризаційно-оптичний метод.

5. Важливим науковим результатом є запропонований підхід для розв'язку задач механіки руйнування у випадках великих значень оптичної різниці ходу та одержані експериментальні дані дослідження напружено деформованого та граничного станів багат шарових структур (триплексів) з можливими тріщинами у їх складових частинах за низьких температур.

6. Значимість для науки результатів, отриманих автором.

Вперше запропоновано оптичні методи механіки деформівного твердого тіла, дія яких базується на вимірюванні змін інтенсивності світла, а не на розшифровці інтерференційних картин (інтерференційні та оптико-когерентні

методи), або певних геометричних вимірюваннях (оптико-геометричні методи). Таким чином, розроблені методи поглинання та дифузного поверхневого розсіювання (разом із відповідними датчиками деформацій поверхні), створюють принципово відмінну від існуючих, третю групу оптичних методів. Вперше запропоновано у критерії граничного стану ввести відношення оптико-механічних констант, що підвищило ефективність критерію стосовно врахування впливу комплексу механіко-фізичних чинників.

7. Значимість для практики результатів, одержаних автором.

Практична значимість роботи полягає у одержанні експериментальних даних дослідження напружено-деформованого та граничного станів гомогенних і гетерогенних триплексів, з обрамленням та без, та з можливими у їх складових частинах за низьких температур, даних руйнування електровакуумного неорганічного силікатного скла, органічного скла СО та Е-2, епоксидних смол ЕПСА, ЕД-16, ЕД-20, а також даних розподілу величин коефіцієнтів напружень (КІН) біля обрамлення. Завдяки цьому одержано чисельні результати оцінки міцності триплекс них елементів автомобільної техніки (ПП. “Терновояж”, акт впровадження 3/25 від 16.03.2015), газорегуляторних установок та корпусів фільтрів шафового типу (ТОВ “ТеХС”, м. Тернопіль, акт впровадження №4/21 від 17.04.2014, ТОВ “ТОПА399”, м. Харків, акт впровадження №5/17 від 23.05.2014). крім того, експериментальні дані комплексного дослідження триплексів передані для використання в Департамент агропромислового розвитку Тернопільської ОДА (№02-825/02 від 10.06.2015).

8. Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих працях.

Основні результати дисертаційної роботи у повному обсязі висвітлено в 64 наукових працях, серед яких 2 монографії та 4 авторських свідоцтва на винаходи. Значна кількість робіт (21) опубліковано автором одноосібно. Результати роботи доповідались на науково-технічних конференціях та семінарах. Зміст автореферату повністю розкриває суть роботи, висновки і рекомендації є важливими для науки та сучасних потреб інженерних досліджень.

Матеріал дисертаційної роботи викладено логічно, поставлена мета повністю досягнута, висновки по роботі чітко відповідають поставленим задачам.

9. Мова та стиль дисертації

Дисертація написана на високому науково та методологічному рівні. Автор продемонстрував вміння подавати матеріал у логічній взаємозв'язаній формі, що сприяє чіткому розумінню матеріалів дисертації. Тема і зміст дисертаційної роботи повністю відповідають паспорту спеціальності 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

10. Зауваження по дисертації

Є ряд зауважень по *дисертаційній роботі та автореферату*

По дисертації:

1. Для експериментальної частини роботи дуже важливо показати точність методу. Похвально, що в роботі на прикладі тріщини третьої моди (стр 62---) частково дається такий аналіз. Разом з тим, в цьому аналізі не враховано похибку від *основного* члена в виразі для K_{III} , а саме дільника $1/(1/\sqrt{r_1} - 1/\sqrt{r_2})$. Прикидочні розрахунки показують, що маленька неточність визначення, наприклад r_1 , може давати дуже значні похибки в K_{III} , тим більше коли r_1 близьке до r_2 . Жалко, що для інших багато чисельних прикладів експериментального визначення K_I та K_{II} такий аналіз не проводився.

2. Другим дуже важливим фактором, який впливає на точність експериментального визначення K_{IH} , є номінальні напруження. В роботі приводяться загальні міркування, що при дуже маленькій відстані від вершини тріщини ними можна знехтувати порівняно з напруженнями сингулярними (які визначаються K_{IH}). Проте ніде не показано, що для даних відстаней (якими оперує автор) і визначених значень K_{IH} це дійсно так, тобто не приводиться порівняння сингулярних і номінальних напружень.

3. У параграфі 3.1 є певні неточності у проміжних викладках (перехід від формули (3.5) до (3.8)). Взагалі, ці теоретичні міркування є зайвими і, принципово, не впливають на результат. Тут важливо лише поняття

натурального показника поглинання (3.14) і, введений нижче, формулами (3.26)-(3.28) фізичний закон зв'язку компонентів поглинання з компонентами деформації.

Перехід до зв'язку поглинання з напруженнями дуже просто робиться на основі закону Гука, буквально декількома рядками. Наведення в роботі додаткових теоретичних міркувань є зайвим.

Теж саме відноситься до розділу "Зондує випромінювання неполяризоване".

4. До параграфу 3.2. У формулі (3.98) бажано б було спростити вираз і замість складних і незрозумілих f_1 і f_3 дати їхню суму $= \cos \theta / 2$. Доцільно було б тут в формулі (3.99) сказати, що тут $\theta = 0$, тобто це є кут головних напружень. Те ж саме відноситься до знаменника формул (102)- (108). Замість комбінації чотирьох функцій ввести їх просте значення, що потім і робиться (але без зпрощення) формулою (109). Приведені викладки на стр 97-99 є важкими і непрактичними, наприклад, чому вводяться різні кути θ та φ . Простіше спочатку дати напрям головних напружень в залежності від відношення мод тріщини, для заданого напрямку в полярних координатах дати вирази для них, а потім – застосувати процедуру визначення КІН через логарифми інтенсивності світла. Формулу 3.14 також можна спростити – дати в знаменнику $= \cos \theta / 2$. В формулі (115) – лишня сума деформацій. Формула (118) – чи є вона залежною від головних чи довільних напружень?

5. Приклад на сторінці 102. Оскільки точка біля вершини тріщини лише в 10 раз ближча до неї, ніж довжина тріщини, то номінальні напруження лише, приблизно, в $\sqrt{10}$ раз менші за сингулярні.

6. В формулі (4.19) ро нульове в квадраті – лишнє, а ліва частина представляє собою обернену записаній величину, тобто зміну кривизни. Фізичний закон (4.20) напевно правильніше записати через зміну кута, а зміна кута пропорційна зміні кривизни та довжини бази вимірювань. Чи правильний перехід від 4.24 і 4.25 до 4.28 визначається способом вимірювання – якщо ми міряємо знову по двох лініях – то так, а якщо міряємо по суцільній площі – то ні.

В розділі 4.2 не зрозумілий вибір геометрій тіл – майже всі вони відносяться до втрати стійкості, коли малим приростам сил відповідають нелінійні деформації.

7. У параграфі 4.3.1. наведено вираз для M_y , але не приводиться вираз для M_x , і в подальшому M_x не застосовується, хоча мав би. При цьому, запропонований дисертантом підхід сумісного застосування методів дифузного поверхневого розсіювання та фотопружності для визначення КІН (моментів), принципово, реалізується.

8. У розділі 6 модифіковано поляризаційно-оптичний метод з метою підвищення ефективності його застосування для оптично малочутливих матеріалів. Проте не наведено оцінку його застосування для традиційних задач, які вирішуються методом фотопружності, порівняно із відомими методами (наприклад, методом смуг).

9. Результати, одержані автором у розділі 7, стосовно величин КІН у складових частинах триплексів, які знаходяться поблизу обрамлення, з точки зору механічної оцінки, досить близькі розподілу КІН для поверхневих та наскрізних тріщин, які знаходяться у зоні впливу шва (технологічного та конструктивного) зварних конструкцій. Було б доречно проаналізувати одержані результати під кутом їх трансформації для моделей зварних конструкцій та переносу на реальні зварні об'єкти.

10. У розділі 7 на рис. 7.5 наведено картину оптичної анізотропії біля вершини тріщини у електровакуумному силікатному неорганічному склі, проте не зроблено висновок про можливість застосування традиційних підходів фотопружності для визначення КІН у даному випадку.

По автореферату:

1. На ст. 21-22 наведено дані тестових експериментів для склопластинок із крайовими тріщинами, але не вказано розміри останніх, що дещо ускладнює повноцінне сприйняття тестового експерименту.

На ст. 27 за результатами комплексного дослідження триплексів запропоновано рейтингову оцінку чотирьох видів їх конструктивного виконання,

проте у авторефераті не наведено рисунків, які демонструють конструкції відповідних триплексів.

Зроблені вище зауваження не мають визначального впливу на загальну позитивну оцінку роботи.

Висновок

Дисертація Рудяка Ю.А. “Оптичні експериментально-розрахункові методи визначення напружено-деформованого та граничного станів прозорих діелектриків” є завершеною науковою роботою, у якій розв’язано важливу наукову проблему підвищення ефективності та функціональних можливостей експериментальних досліджень шляхом розробки експериментально-розрахункових оптичних методів визначення напружено-деформованого та граничного станів прозорих діелектриків на основі аналізу параметрів тензора діелектричної проникності.

Дисертаційна робота **Рудяка Юрія Ароновича** за актуальністю, рівнем вирішення основних задач, науковою новизною відповідає вимогам МОН України, що ставляться до докторських дисертацій, а її автор, заслуговує присудження йому вченого ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Офіційний опонент,
завідувач відділу фізичних основ
міцності та руйнування Інституту проблем
міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України,
доктор технічних наук, професор

I.V. Ориняк

Підпис I.V. Ориняка засвідчую
Учений секретар ІПМ ім. Г.С. Писаренка
НАН України, к.т.н.



В.І. Скрипченко