

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу М.Ф. Селіванова
“Квазістатичні задачі механіки руйнування пружних та в'язкопружних тіл
для моделей тріщин з зонами зчеплення”,
подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

В дисертаційній роботі розглянуто нові класи плоских задач механіки довготривалого руйнування матеріалів, а саме проблеми визначення напруженодеформованого стану матеріалів з тріщинами при наявності в околі їх вершин зон передруйнування. Розгляд цих проблем не може бути здійснений за допомогою відомих методів класичної механіки руйнування, які базуються на лінійній теорії пружності, оскільки ці методи не враховують складних фізичних ефектів (утворення мікротріщин та порожнин біля фронту тріщини, їх злиття, бріджинг та інші механізми на мікрорівні), що мають місце в околі вершини тріщини.

Спираючись на результати експериментальних та теоретичних досліджень повільного поширення тріщин у в'язкопружних ортотропних тілах, проведених в роботах А.О. Камінського, автором роботи сформульовано математичну постановку плоских задач для вказаних тіл з системою колінеарних тріщин. Досліжено повільне підростання тріщини нормального відриву вздовж наперед відомого шляху за наявності в околі її розташування системи зосереджених сил та розподіленого навантаження на значному віддаленні від тріщини. При цьому в роботі вперше запропоновано та оптимізовано складні математичні методики розв'язання поставлених задач, що дозволило повніше врахувати та правильно інтерпретувати важливі механічні ефекти.

Зміст дисертації розділено на вступ, п'ять розділів та висновки. Загальний обсяг дисертації – 322 сторінки. Основні наукові результати, що викладені у дисертації, опубліковано в 52 наукових працях (з них 11 – без співавторів), з яких 43 надруковано у фахових виданнях, 6 – у англомовних виданнях. Результати роботи пройшли достатньо широку апробацію на вісімох міжнародних наукових конференціях та семінарах. Наведені публікації в повній мірі висвітлюють основний зміст роботи і були опубліковані після захисту кандидатської дисертації автора. Докторська дисертаційна робота не містить матеріалів, викладених у кандидатській дисертації здобувача. Отримані наукові результати відповідають одному з основних напрямів наукових досліджень відділу механіки руйнування матеріалів Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, її матеріали увійшли у звіти з дев'ятьох науково-дослідних робіт.

Здобувач продемонстрував знання і розуміння механіки довготривалого руйнування, підходів до теоретичного аналізу та математичних методів розв'язання задач механіки тріщин за наявності зон передруйнування, що знайшло

відображення в якісно виконаному огляді літератури. В другому розділі описано загальні властивості моделі зони зчеплення, метод розв'язання пружної задачі за наявності контакту берегів тріщини, наведено визначальні співвідношення для кінетики зростання тріщини у в'язкопружному ортотропному середовищі. В третьому розділі представлено розв'язки базових задач механіки тріщин з зонами передруйнування за наявності в околі тріщини зосередженої сили або їх систем. Для тріщини змішаного режиму руйнування представлено найпростішу для теоретичного дослідження модель складної зони зчеплення. Наведено приклади визначення кінетики зростання тріщини за наявності силових факторів (зосереджених сил), що вносять неоднорідність в поле напружень вздовж лінії розташування тріщини. В четвертому розділі розв'язки побудовано для ортотропного матеріалу, проілюстровано ефективність запропонованого методу розв'язання задач, порівняно результати його застосування з результатами класичного підходу. Ефективність методу продемонстрована також розв'язанням задачі про систему колінеарних тріщин з зонами передруйнування. В розділі наведено приклад обчислення кінетики злиття двох колінеарних тріщин різної довжини. В п'ятому розділі наведено дослідження напружене-деформованого стану тіла з тріщиною із врахуванням нелінійного закону зчленення-відриву. Автору вперше вдалося врахувати цю нелінійність разом із умовою плавності змикання берегів, яка вносить у визначальну систему рівнянь геометричний параметр складної зони зчеплення, що унеможливлює лінеаризацію отриманої системи. Також в розділі наведено розв'язок найскладнішої, на думку офіційного опонента, задачі дисертації – задачі про повільне зростання тріщини з врахуванням нелінійного закону зчленення-відриву. Для цієї задачі кожне значення функції у згортці, що присутня в інтегральному рівнянні, що описує повільне поширення тріщини, обчислюється з системи нелінійних рівнянь.

Результати та висновки дисертаційної роботи повністю відповідають меті та поставленим завданням, автореферат дисертації є ідентичним положенням роботи і достатньо повно та адекватно відображає основний зміст.

Далі зупинимося на тих основних моментах роботи, які дозволяють зробити висновок про її відповідність вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук.

Актуальність теми дисертації. Механіка руйнування як галузь науки про міцність матеріалів зараз продовжує інтенсивно розвиватись, що пояснюється необхідністю більш точного розрахунку ресурсу та довговічності відповідальних елементів конструкцій, опору матеріалу поширенню наявних в ньому тріщин. При цьому ряд важливих аспектів процесу руйнування реальних матеріалів та конструкцій, зокрема, наявності зон передруйнування та спадкових властивостей матеріалу, які можуть мати суттєвий вплив на розвиток тріщин, залишаються дослідженими недостатньо.

Це зумовлює актуальність та безумовну важливість подальшого розвитку математичних методів дослідження проблем довготривалого руйнування матеріалів та розв'язку задач для конкретних практично важливих схем розташування взаємодіючих дефектів при різних умовах зовнішнього навантаження та геометрії елемента конструкції.

Обґрунтованість результатів дисертації забезпечується використанням коректних математичних постановок задач у рамках плоскої задачі теорії пружності та механіки руйнування, використанням експериментально перевірених критеріїв руйнування та фізично обґрунтованих зв'язків між відривами та зчепленнями, застосуванням обґрунтованих (точних аналітичних) методів розв'язання поставлених задач. В якості перевірки достовірності отриманих результатів в роботі використовуються більш прості асимптотичні розв'язки, які дають зручні оцінки шуканих величин за малих довжин зчеплення. Результати застосування оберненого перетворення Лапласа, які одержані запропонованим методом, порівнювались з результатами використання інших методик. Також було досліджено збіжність використаних числових методів та показана їх ефективність.

Наукова новизна результатів роботи. Здобувач дослідив нові класи задач механіки тріщин, що дозволило виявити основні закономірності впливу параметрів тріщиностійкості, неоднорідності поля напружень на лінії розташування тріщини, взаємодії тріщин між собою на параметри руйнування. При цьому побудовані та апробовані ефективні методики отримання розв'язків задач лінійної в'язкопружності; отримано розв'язок задачі про розкриття тріщини з зоною передруйнування, яка моделюється складною зоною зчеплення з рівномірними розподілами нормального і зсувного зчеплень, враховано можливий контакт берегів тріщини; запропоновано нові методики для визначення розкриття тріщини в рамках моделі зони зчеплення з рівномірним законом розподілу зчеплення та для розв'язання систем інтегральних рівнянь та нерівностей, що описує положення вершин тріщини зі зміною часу; запропонована нова постановка, яка дозволила використати модель зони зчеплення при дослідженні стану граничної рівноваги тріщини змішаного режиму руйнування, та наведено метод розв'язання задачі в цій постановці.

Здобувачем виявлено ряд нових механічних ефектів, серед яких слід особливо відмітити закономірності повільного докритичного поширення тріщини внаслідок неоднорідності поля напружень на лінії поширення та вплив форми закону зчеплення-відриву на довжину зони зчеплення та параметри граничної рівноваги тіла з трічиною.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості використання розроблених методів, що враховують моделі зони передруйнування, для дослідження стану граничної рівноваги пружного тіла з трічиною та довговічності в'язкопружного тіла з трічиною. Отримані розв'язки можна

розглядати як еталонні при тестуванні результатів числових методів.

Зауваження:

1. В роботі розглянуто лише розвиток тріщин вздовж лінії їх початкового розташування. Однак є відомим факт, що навіть дві колінеарні тріщини зростають не вздовж найкоротшого шляху. Якщо розтягувати пластину вздовж нормалі до майже колінеарних тріщин, то ці тріщини на початковому етапі поширюються вздовж лінії свого початкового розташування. Але коли відстань стає меншою, на другому етапі, тріщини відхиляються й не зливаються вздовж найкоротшого шляху. Взаємодія тріщин призводить до того, що кожна вершина огибає іншу на деякій відстані до моменту злиття. Чи можливим є розв'язання такої задачі запропонованим в роботі методом.

2. В параграфі 3.1 обчислюється велика кількість досить складних інтегралів від функцій в комплексній площині (наприклад, (3.14)). При цьому незрозуміло, чи автор виконав ці обчислення повністю самостійно, чи ж користувався деякими літературними джерелами, оскільки ніяких посилань на літературні джерела у цьому параграфі немає.

3. На сторінці 124 контурні напруження апроксимуються кусково-лінійною функцією з невідомими напруженнями у вузлах сітки, яка будується в області контакту. При цьому не вказується як вибираються вузли сітки – чи рівномірно, чи нерівномірно. Не вказано також яка кількість вузлів вибиралась при побудові розв'язків, графіки яких наведені на рисунках 3.17, 3.18 та як залежить точність розв'язку від вибраної кількості вузлів сітки.

4. Автору слід було б приділити більше уваги опису фізичної суті моделі для змішаного режиму руйнування (стор. 285, рис. 5.28) та зробити огляд методів визначення параметрів цієї моделі. Слід було б також вказати кількість кроків ітеративної процедури, яка була використана при побудові потенціального поля зчеплення (рис. 5.30) та локусу руйнування (рис. 5.31).

5. Значна частина представлених числових розв'язків є результатом застосування запропонованих автором методик та стандартних числових методів (наприклад, розв'язання систем нелінійних рівнянь). В роботі не вказано які математичні програмні середовища були використані для побудови розв'язків.

Вказані зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку отриманих в дисертації результатів і можуть розглядатися як побажання щодо подальших напрямів досліджень автора.

Тема, зміст та результати дисертації відповідають паспорту спеціальності 01.02.04 – механіка де формівного твердого тіла (фізико-математичні науки).

В цілому, дисертаційна робота М.Ф. Селіванова є закінченою науково-дослідною роботою, а сукупність результатів, що містяться в ній, можна кваліфікувати як вагоме досягнення в розвитку важливого розділу механіки

деформівного твердого тіла – механіки довготривалого руйнування матеріалів зі спадковими властивостями.

Вважаю, що дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні. В ній розв'язана важлива актуальна наукова проблема. Дисертація має суттєву наукову та практичну новизну і відповідає вимогам п.п. 9,10,12,13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановами Кабінету Міністрів України № 656 від 19 серпня 2015 р., № 1159 від 30 грудня 2015 р та № 567 від 27 липня 2016 р.), а її автор, Селіванов Михайло Федорович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла.

Професор кафедри обчислювальної
математики та математичної кібернетики
Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара,
доктор фіз.-мат. наук, доцент

А.С. Шевельова

Підпис А.С. Шевельової засвідчує:

Вчений секретар Дніпровського
національного університету імені Олеся
Гончара
кандидат фіз.-мат. наук, доцент

Т.В. Ходанен

