

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Ленковського Тараса Михайловича
«Метод оцінювання циклічної тріщиностійкості сталей
за поперечного зсуву»
поданої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла

Актуальність теми дисертації.

Проблема міцності елементів конструкцій, які містять тріщиноподібні дефекти і під час експлуатації зазнають дії циклічних навантажень є однією з найбільш актуальних в інженерній практиці. Вплив циклічного навантаження на поведінку тріщин в елементах металоконструкцій проявляється через їх поширення аж до можливого повного руйнування елемента металоконструкції. Серед трьох основних макромеханізмів руйнування, до недавна, найменш дослідженім залишався поперечний зсув. Причиною цього є відносні труднощі експериментальної його реалізації та теоретичного моделювання з урахуванням реально задіяних чинників процесу поширення тріщини. Зокрема, аналітичні розв'язки задач стосовно поперечного зсуву дають некоректні результати для переміщень у вигляді наявності незначної ділянки взаємопроникнення берегів тріщини в околі її вершини, що суперечить законам деформування твердого тіла. Чисто емпіричний шлях дослідження втомної міцності матеріалів дає, звичайно, достовірні дані про поведінку конкретного матеріалу за певних умов випробування. Отримані при цьому результати сприяють розробленню адекватних теоретичних моделей деформування матеріалів за поперечного зсуву для подальшого прогнозування поведінки матеріалу за умов експлуатації складнішого та більш узагальненого характеру.

З огляду на сказане, тема дисертаційної роботи Ленковського Т. М. «Метод оцінювання циклічної тріщиностійкості сталей за поперечного зсуву», метою якої є розроблення методу оцінювання опірності конструкційних сталей росту втомних тріщин (РВТ) за поперечного зсуву, який базується на визначенні їх характеристик циклічної тріщиностійкості (ЦТ) є актуальною і має істотне теоретичне і практичне значення.

Констатація завершеності виконаної дисертаційної роботи.

Дисертація Ленковського Т.М. є цілісним, самостійним і завершеним науковим дослідженням. Дослідження за темою дисертації виконані в рамках 3-х бюджетних науково-дослідних тем Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України відповідно до тематичних планів Національної академії наук України, а також цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд і машин» («Ресурс»).

Ступінь обґрутованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Детальний опис стану проблеми та аналіз результатів експериментальних досліджень за літературними першоджерелами, чітке формулювання завдань експериментальних досліджень, комплексний підхід при їх розв'язанні, використання для досягнення мети визнаних у механіці руйнування методів розрахунку та різnobічний аналіз і порівняння отриманих результатів з відомими дають підстави говорити про високу степінь обґрутованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації Ленковського Т. М.

Найбільш суттєві наукові результати отримані дисертантом та їх новизна.

У дисертаційній роботі вирішено важливе науково-технічне завдання, а саме: розроблено метод оцінювання опірності конструкційних сталей РВТ за поперечного зсуву, що включає розробку конструкції зразка та силової схеми його навантаження, які забезпечують стабільний РВТ; встановлення розрахункової формули обчислення коефіцієнта інтенсивності напружень (КІН) K_{II} з врахуванням тертя берегів тріщини (ТБТ) та експериментальне визначення

коєфіцієнта ТБТ; побудову кінетичних діаграм втомного руйнування (КДВР) конструкційної сталі після різних термообробок (ТО) та визначення на їх основі характеристик ЦТ – порога втоми K_{IIfh} та циклічної в'язкості руйнування K_{Ifc} .

В процесі виконання роботи отримано наступні нові наукові результати:

- ✓ Здійснено експериментальне моделювання поширення втомної тріщини за поперечного зсуву, яке включає:
 - розроблення зразка оригінальної конструкції для дослідження ЦТ металічних матеріалів за поперечного зсуву, який захищено патентом України;
 - розроблення відповідних технічних засобів для реалізації експериментального моделювання стабільного РВТ за поперечного зсуву та інформаційно-вимірювальної системи реєстрації експериментальних даних (установка захищена патентом України);
 - розроблення пристрою для експериментального визначення коєфіцієнта ТБТ з використанням фрагментів зруйнованих зразків як пари тертя за законом Кулона–Амонтона.
- ✓ З використанням методу скінчених елементів створена методика визначення КІН K_{II} за поперечного зсуву у запропонованому зразку з краєвою тріщиною, з допомогою якої проведено:
 - числовий аналіз залежності нормованого КІН K_{II} від відносної довжини тріщини λ та коєфіцієнта ТБТ f_c ;
 - апроксимацію отриманого числового масиву значень нормованого КІН K_{II} аналітичним виразом змінних λ і f_c і запис на цій основі аналітичної формули для обчислення КІН K_{II} та встановлення діапазону зміни λ і f_c , за яких вона забезпечує максимальне відхилення менше 4%;
 - встановлено умови автомодельності поширення тріщини за поперечного зсуву у запропонованому зразку.
- ✓ Побудовані за поперечного зсуву КДВР, з яких визначені характеристики ЦТ (поріг втоми K_{IIfh} та циклічну в'язкість руйнування K_{Ifc}) після різних ТО сталі 65Г (гартування з 820°C в оливу і відпуску впродовж 1 год за температур 600, 500, 400 та 300 °C) та визначено вплив на них умовної границі текучості.

Достовірність положень та висновків дисертації.

Достовірність сформульованих у роботі висновків забезпечується фізично коректною постановкою задач механіки руйнування, застосуванням відомих та новостворених методів експериментальних досліджень, узгодженістю результатів з літературними даними.

Практичне значення отриманих результатів.

Побудовані і приведені в роботі численні експериментальні залежності можуть послужити основою для обґрунтування зasad теоретичного моделювання поширення тріщини за поперечного зсуву.

На основі проведених досліджень та вивчення отриманих емпіричних залежностей запропоновано вибирати циклічну в'язкість руйнування за визначальну характеристику пошкоджуваності поверхні кочення залізничних коліс за контактної втоми.

Розроблену здобувачем методику побудови КДВР для визначення характеристик ЦТ металів за поперечного зсуву, конструкцію зразка та формулу для обчислення КІН K_{II} , устаткування для проведення випробувань, а також спосіб визначення коєфіцієнта ТБТ та пристрій для його реалізації покладено в основу проекту ДСТУ «Розрахунки і випробування на міцність. Методика визначення характеристик циклічної тріщиностійкості за поперечного зсуву та кімнатної температури» на який отримано позитивні відгуки від 7-ми провідних наукових установ України (відповідна довідка у Додатку дисертації).

Апробація наукових результатів, повнота їх висвітлення в опублікованих працях.

Основні результати роботи пройшли достатньо широку апробацію на наукових

конференціях, а сама робота в цілому на семінарах у провідних наукових установах. Результати роботи у повній мірі відображені у наукових публікаціях (п'ять статей у журналі «Фізико-хімічна механіка матеріалів», який перекладається у видавництві Springer і входить до наукометричної бази даних Scopus та два патенти України) та авторефераті. Зміст автореферату і основних положень дисертації є ідентичними. Викладення матеріалу логічне і послідовне. За результатами експериментальних розробок та їх аналізу зроблені висновки окремо по розділах і загалом по дисертації. В цілому робота виконана на високому науковому рівні, написана технічно грамотно, стиль викладу дає можливість фахівцям сприймати суть роботи, методи та результати досліджень.

Відповідність роботи вимогам, які ставляться до дисертації.

За важливістю розв'язаної науково-технічної задачі, повного її теоретичного та експериментального обґрунтування, обсягом проведених досліджень і новизною сформульованих висновків та їх практичною цінністю дисертаційна робота Ленковського Т. М. відповідає вимогам, що ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Зauważення до дисертаційної роботи.

1. Визначення та дослідження характеристик ЦТ для конструкційної сталі 65Г проведено за кімнатної температури. Цікаво було б провести такі дослідження для інших температур довкілля, як низьких так і високих, з діапазону температур експлуатації конструкцій.
2. В роботі (п. 3.2.1) описаний метод найменших квадратів стосовно апроксимації таблично заданої функціональної залежності двох змінних ($x_i; y_i$) $i=1\dots n$, тобто метод побудови за цими даними аналітичної залежності $y=f(x)$. На стор. 80 автор стверджує, що застосував цей метод для апроксимації таблично заданої залежності нормованого КІН K_{II} від двох змінних λ (відносної довжини тріщини) і f_c (коєфіцієнта ТБТ). Очевидно це не так. Автору слід було б пояснити реально використану технологію проведенії апроксимації.
3. Ріст втомної тріщини поперечного зсуву за циклічного навантаження і врахування ТБТ буде супроводжуватися істотним локальним зростанням температури матеріалу по довжині тріщини і у зоні передруйнування. Було б цікаво дослідити вплив цього локального зростання температури на КІН K_{II} і відповідно на характеристики ЦТ, подібно до того, як це роблять враховуючи вплив концентрації водню на поширення втомної тріщини нормального відриву.
4. У деяких не дуже віддалених формулах, наприклад, (3.8) і (3.17)–(3.19), вжито однакові позначення різнопідвидів за змістом величин.
5. Допущені помилки у підписах до рисунків. Так:
 - рис. 1.3, стор. 17 повинно бути: b – тип III (повздовжній зсув), c – тип II (поперечний зсув);
 - рис. 2.14, стор. 57. Правильним буде підпис, коли слова «низьких» та «високих» помінням місцями. В авторефераті цей підпис правильний;
 - рис. 3.21, стор. 88 у нерівностях другі знаки повинні бути протилежними до написаних.
6. Допущені помилки при написанні формул. Так:
 - у формулі (1.4) стор. 18 у виразі для напруження σ_{zz} не вказано аргумент косинуса;
 - у формулі для V (стор. 22, 8-й рядок зверху) пропущено показник степеня « n » (має бути $(K_{\max}/K^*)^n$ і $(\Delta K_{\max}/\Delta K^*)^n$);
 - у формулі (2.3) стор. 48 замість « e » має бути « c »;
 - у формулах (3.3), (3.6), (3.7), стор. 64, 66 замість « k » повинно стояти « κ ». Вирази κ через коефіцієнт Пуассона для випадку плоскої деформації і плоско-напруженого стану наведені на стор. 64. До речі, у його виразі для плоско-

напруженого стану $1+i$ слід взяти у дужки. Позначення k в дисертації вживається і його зміст наведено на стор. 102;

- у нерівностях на стор. 80 (4-й рядок зверху, в авторефераті стор. 9) другі знаки мають бути протилежними до написаних;
- у формулі (4.3), стор. 100 замість P_i повинно стояти $P_{i\max}$.

7. У дисертації зустрічаються невдалі, некоректні та помилкові формулювання. Так:

- на стор. 20 в кінці 2-го рядка замість сполучника «і» має стояти «або»;
- на стор. 25 у 2-му рядку зверху замість «... з 21 до 98...» має бути «... з 98 до 21...»;
- на стор. 36 в останньому рядку тексту замість слова «некоректно» має стояти «коректно»;
- у 3-му рядку 1-го абзацу стор. 54 замість $P-\Delta U$ коректно було б написати $P\sim\Delta U$, або зміст цього виразу пояснити словесно;
- при наближенні значення 0,096 величиною 0,1 (див. формулу (4.5) на стор. 86), слід було вжити знак « \approx », а не « $=$ »;
- в кінці передостаннього рядка п. 3.1.1 (стор. 68) бракує слова «розмір»;
- оскільки формула (4.5) на стор. 102 не є спрошенням формул (4.4) то коментар перед нею мав би звучати «Параметр n_{II} можна обчислити також за формулою []» (з обов'язковим посиланням на використане літературне джерело);
- у назві § 3.3 стор. 87 логічно було б вказати про верифікацію якої формули йдеться;
- у п. 3 висновків до розділу 3 (стор. 94) після слова «розрахунків» слід вставити « $K_{II} K_{I}$ », а з наступного рядка викинути слова «масиву даних». У другому реченні після слова «На» вставити слово «основі»;
- у висновку 3 до 4-го розділу (стор. 119) вираз «різної міцності» слід було б поставити після «65Г» та виправити описку в останньому слові висновку;
- у примітці до табл. 5.2 (стор. 124) ΔK_{II} слід було б поставити після слова «значення», а ΔK_I – після слова «зnamеннику»;
- у другій формулі (5.1) допущена описка у написанні розмірності сили – замість « kg » має бути « kg ».

Висновок.

Перелічені недоліки не впливають на позитивну оцінку роботи в цілому. Рецензована дисертація «Метод оцінювання циклічної тріщиностійкості сталей за поперечного зсуву» є завершеною науковою роботою, у якій вирішена важлива як в науковому, так і в практичному відношенні задача. За новизною отриманих результатів та ступенем їх обґрунтованості вона відповідає вимогам ВАК України, а її автор Т. М. Ленковський заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.02.04 - механіка деформівного твердого тіла.

Заступник директора з наукової роботи
Інституту прикладних проблем
механіки і математики
ім. Я. С. Підстригача НАН України
доктор технічних наук, професор



В.С. Попович