

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Долінської Ірини Ярославівни

“Діагностування руйнування матеріалів і визначення залишкового ресурсу елементів конструкцій за локальної повзучості”,

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій

Актуальність теми. Проблема зношування конструкцій, споруд і машин для України набуває особливого значення, оскільки за підрахунками спеціалістів, вичерпання планового ресурсу обладнання в різних галузях промисловості країни становить 50–70 %. Тому особливої актуальності набувають питання управління експлуатаційною надійністю та довговічністю відповідальних об’єктів шляхом визначення їх технічного стану і залишкового ресурсу та встановлення науково обґрунтованих строків експлуатації.

Довговічність конструкцій, які в процесі експлуатації зазнають дії довготривалих навантажень, визначається заповільненим руйнуванням їх елементів, яке зумовлює як силові, так і фізико-хімічні чинники. Процес заповільненого руйнування конструкційних матеріалів відбувається внаслідок зародження тріщин повзучості та їх розвитку до критичних розмірів. За своєчасного виявлення тріщиноподібного дефекту, його параметрів і місця знаходження в конструкції, застосовуючи підходи механіки руйнування, можна визначити залишкову довговічність.

Дисертаційна робота Долінської І.Я. присвячена актуальній тематиці створення методологічних засад оцінювання залишкової довговічності елементів конструкцій з тріщинами повзучості за дії довготривалого навантаження і фізико-хімічних експлуатаційних чинників, а також їх діагностування методом акустичної емісії.

За науковим спрямуванням дослідження за темою дисертації виконувались в рамках держбюджетних наукових та госпдоговірних тем відділу акустичних методів технічної діагностики Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України у 2012–2018 роках.

Загальна характеристика роботи. Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел (471 найменування) і трьох додатків. Загальний обсяг дисертації займає 385 сторінок, а основний текст – 289 сторінок. Робота містить 134 рисунки та 2 таблиці.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми досліджень, визначено їх мету і задачі, показано зв’язок із науковими програмами, планами, темами, висвітлено наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів. Визначено особистий внесок здобувача в публікаціях та рівень апробації результатів дисертації.

У **першому** розділі подано огляд робіт, присвячених дослідженню руйнування конструкційних матеріалів за повзучості. Оцінено вплив температури, воденьвмісного і корозивного середовищ, нейтронного опромінення на процеси заповільненого руйнування матеріалів за довготривалого навантаження. Показано, що одним із ефективних методів діагностування руйнування матеріалів і елементів конструкцій є метод акустичної емісії. На основі проведеного аналізу сформульовано основні завдання, які необхідно було розв'язати під час виконання дисертаційної роботи.

У **другому** розділі на підставі першого закону термодинаміки сформульовано загальний енергетичний підхід для визначення залишкової довговічності елементів конструкцій з тріщинами за довготривалого навантаження і дії фізико-хімічних чинників під час їхньої експлуатації. Повзучість у пластичній зоні біля вершини тріщини вважають основним механізмом її заповільненого поширення, що і призводить до втрати ресурсу елемента конструкції. Розроблено математичну модель для визначення залишкового ресурсу елементів конструкцій з тріщинами за дії блочного навантаження і високої температури, застосування якої дало можливість показати, що витримка в циклі навантаження зменшує довговічність елемента конструкції порівняно із піковими його циклами в блоці.

У **третьому** розділі розроблено математичні моделі для оцінювання впливу фізико-хімічних чинників (воденьвмісне, корозивне середовища, нейтронне опромінення) на залишковий ресурс елементів конструкцій, які експлуатуються в умовах довготривалих статичних і змінних у часі навантажень (циклічних з витримкою в циклі, маневровий режим навантаження) за підвищених температур. Для випадку смуги зі сталі 321 з двома боковими вирізами, що піддана дії циклічного з витримкою в циклі навантаження і воденьвмісного середовища показано, що водень пришвидшує зародження і докритичний ріст повзучотомної тріщини, зменшуючи довговічність смуги в 10 разів. На прикладі аналогу задачі Гріффітса встановлено, що корозивне середовище зменшує залишкову довговічність пластини з тріщиною повзучості до п'яти разів (залежно від величини прикладених зусиль) для сталі 20, а для хромомарганцевої сталі в 1,6 рази.

Коректність математичних моделей підтверджена порівнянням отриманих дисертантом теоретичних результатів з експериментальними, опублікованими раніше іншими авторами в літературі.

Четвертий розділ дисертації присвячений створенню теорії для діагностування руйнування матеріалів і елементів конструкцій, застосовуючи метод акустичної емісії. В основу її побудови покладено взаємозв'язок між площею підростання тріщини і сумою амплітуд сигналів АЕ, зареєстрованих під час поширення тріщини. Застосування моделей на практиці дасть можливість достовірніше оцінити залишковий ресурс елементів конструкцій, які працюють за реальних умов експлуатації.

У **п'ятому** розділі, застосовуючи метод АЕ, запропоновано алгоритм пришвидшеної побудови кінетичних діаграм росту тріщин повзучості у параметрах "інтенсивність подій акустичної емісії – коефіцієнт інтенсивності напружень". При цьому запропоновано аналітичний декодер, який дає змогу перевести кіне-

тичну діаграму в параметрах “інтенсивність подій акустичної емісії – коефіцієнт інтенсивності напружень” в діаграму “швидкість поширення тріщини повзучості – коефіцієнт інтенсивності напружень”. Розроблено АЕ-методику побудови кінетичної діаграми росту воднево-механічних тріщин з урахуванням особливостей поширення пружних хвиль у хвилеводі.

У шостому розділі запропоновано методики оцінювання залишкової довговічності двошарових пластин (приблизно з однаковими модулями пружності шарів) з тріщинами високотемпературної повзучості та втомними тріщинами. При цьому для різних випадків конфігурації тріщини коефіцієнти інтенсивності напружень визначено методом граничної інтерполяції і зіставлено з результатами експериментальних досліджень. Як двошаровий елемент розглянуто корпус реактора гідрокрекінгу нафти з наплавкою. На основі концепцій методу АЕ зроблено адаптацію рівняння кінетики поширення водневої тріщини для аналітичного опису водневого руйнування. В результаті отримано диференціальне рівняння для визначення кінетики зміни площі водневої тріщини через параметри АЕ і надвисокої концентрації водню. На основі цього рівняння, досліджено відшарування на межі сплавлення основного металу стінки реактора і наплавки.

У сьомому розділі розроблені в попередніх розділах розрахункові моделі застосовано для оцінювання залишкового ресурсу колеса парової турбіни і труби паропроводу з урахуванням наводнювання її стінки за їх маневрового режиму експлуатації, а також визначено кінетику зміни тріщини в корпусі реактора ВВЕР. Виявлено, що наводнювання стінки труби паропроводу в результаті дисоціації пари на ній призводить до зменшення довговічності труби до 3 разів. На прикладі розрахунку диска ротора парової турбіни встановлено діапазони кількості зміни навантаження (пусків-зупинок), на яких маневровий режим доцільно замінювати стаціонарним або малоцикловою втомою, а на яких не можна користуватись цими замінами, бо запас довговічності йде в ризик руйнування.

Основні наукові результати роботи та їх новизна. До нових наукових результатів, отриманих в роботі, можна віднести:

- застосування загального енергетичного підходу для визначення швидкості і періоду докритичного росту тріщин в елементах конструкцій тривалої експлуатації;
- розрахункову модель оцінювання впливу воденьвмісного середовища на ресурс елементів конструкцій за дії циклічних з витримкою в циклі навантажень і високої температури;
- математичну модель оцінювання впливу корозивного середовища на період докритичного росту тріщин повзучості за підвищених температур і довготривалого статичного навантаження;
- математичну модель визначення періоду докритичного росту тріщини високотемпературної повзучості в елементах конструкцій в умовах дії нейтронного опромінення;
- розрахункові моделі для оцінювання впливу корозивно-наводнювальних середовищ на залишковий ресурс елементів конструкцій з тріщинами високотемпературної повзучості за їх маневрового режиму експлуатації;

- розрахункові моделі діагностування заповільненого руйнування матеріалів і елементів конструкцій за параметрами сигналів акустичної емісії.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.

Використання апробованих в літературі методів і підходів теорії руйнування та першого закона термодинаміки, коректність та строгість математичних постановок задач, застосування строгих добре обґрунтованих у літературі методів розв'язування задач забезпечує обґрунтованість і вірогідність наукових положень і висновків дисертації. Це частково підтверджує добра узгодженість числових розв'язків окремих задач з відомими в літературі аналітичними та числовими розв'язками, а також з результатами експериментів та розрахунків.

Повнота відображення результатів дисертації в фахових виданнях. За матеріалами дисертації опубліковано 2 монографії, 1 навчальний посібник, 1 стандарт організації України, 43 статті у фахових журналах, збірниках наукових праць і матеріалах конференцій. Серед них 18 публікацій у виданнях, що входять в наукометричну базу Scopus. За матеріалами дисертації зроблено доповіді на п'ятнадцятьох міжнародних та вітчизняних наукових конференціях і симпозіумах.

Зміст автореферату відповідає основним положенням дисертаційної роботи.

У докторській дисертаційній роботі не використовуються результати досліджень кандидатської дисертаційної роботи.

Зауваження до дисертації.

1. У роботі досліджується ріст тріщин повзучості в конструкційних матеріалах в умовах дії високої температури. Під час побудови математичних моделей, не зрозуміло де ця висока температура враховується і як. Можливо коректніше було б ввести в рівняння певний параметр, який би визначав вплив даної температури на оцінку довговічності матеріалу.
2. Під час побудови розрахункової моделі росту тріщин високотемпературної повзучості використовується тільки ділянка усталеної повзучості. Для деяких матеріалів важливим є оцінка впливу першої ділянки діаграми повзучості. В роботі не вказано, для якого типу матеріалів побудована розрахункова модель.
3. У роботі побудована модель для дослідження впливу водню на повзучо-втомне поширення тріщини. Проте не вказано, як дифундує водень в матеріал за його циклічного навантаження.
4. Досліджуючи вплив нейтронного опромінення на поширення тріщин високотемпературної повзучості в корпусних сталях не враховано набухання матеріалів в результаті опромінення (для фібробетонів товщина плити може суттєво збільшитися). Це змінює постановку та розв'язок задачі про напружено-деформований стан матеріалів за нейтронного опромінення.
5. У роботі запропонована ефективна методика для побудови кінетичних діаграм росту тріщин повзучості за допомогою методу акустичної емісії. На наш погляд недостатньо наведено експериментальних аргументів стосовно її ефективності.

Зазначені зауваження не є принциповими і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Загальні висновки. Дисертаційна робота Долінської І. Я. із урахуванням актуальності вирішених у роботі завдань, наукової новизни отриманих результатів і можливості їх практичного використання є закінченим науковим дослідженням, що містить раніше не захищені наукові положення та практичні результати у галузі діагностики матеріалів і конструкцій, які в сукупності розв'язують науково-технічну проблему розроблення методів визначення залишкового ресурсу елементів конструкцій за дії силових і фізико-хімічних чинників, а також діагностування стану їх матеріалу і дефектності методом акустичної емісії.

Наукові результати роботи пройшли належну апробацію. Вони достатньо повно опубліковані у фахових виданнях і обговорені на багатьох міжнародних і вітчизняних науково-технічних конференціях. Кількість публікацій відповідає вимогам до докторських дисертацій.

За змістом, обсягом та структурою дисертаційна робота «Діагностування руйнування матеріалів і визначення залишкового ресурсу елементів конструкцій за локальної повзучості», яка подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук, відповідає вимогам ДАК МОН України і відповідає паспорту спеціальності 05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій, а її автор Долінська Ірина Ярославівна заслуговує присвоєння наукового ступеня доктора технічних наук.

Офіційний опонент:
завідувач відділу міцності
і надійності механічних систем
Інституту технічної механіки
НАН України і ДКА України,
член-кореспондент НАН України,
доктор технічних наук, професор



В.С. Гудрамович

