

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Стасишина Ігора Вікторовича

“Розроблення трикрокового методу фазозсувної інтерферометрії для контролю рельєфу поверхні елементів конструкцій”, що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю

05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій

Актуальність теми дисертації.

Розроблення методів оцінювання роботоздатності матеріалів та елементів конструкцій за втомного навантаження і впливу агресивних середовищ на сьогодні залишається актуальною науково-технічною проблемою. Її вирішення повинно базуватися на результатах дослідження зміни властивостей матеріалів за впливу експлуатаційних чинників, використовуючи неруйнівні методи діагностики. Основним принципом неруйнівного контролю є знаходження діагностичних ознак деградації матеріалу за впливу експлуатаційних чинників. Тому аналіз поверхневих змін матеріалів широко використовується при оцінюванні ресурсу та прогнозуванні місця виникнення і поширення пошкоджень конструкції. Такі зміни можна оцінювати різними методами, проте останнім часом все частіше використовують оптичні методи відтворення рельєфу, які витісняють традиційні контактні методи профілювання поверхонь зразків конструкційних матеріалів. Фазозсувна інтерферометрія, як один з оптичних методів відтворення та аналізу рельєфу поверхонь металевих конструкцій, є потужним інструментом для вивчення поведінки поверхні та поверхневих явищ. А розроблення трикрокового методу фазозсувної інтерферометрії для моніторингу та аналізу рельєфу поверхонь елементів конструкцій, які працюють в умовах циклічних навантажень та у робочих середовищах, є безумовно актуальною задачею як з теоретичної, так і з практичної точки зору.

Загальна характеристика роботи.

Дисертація складається зі вступу, 3 розділів, які містять 68 рисунків і 4 таблиці, висновків, списку використаних джерел зі 138 найменувань, а також додатків. Загальний обсяг роботи становить 167 сторінок.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, наукову новизну роботи, теоретичне та практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** проведено огляд та аналіз сучасного стану проблеми технічної діагностики елементів конструкцій. Зосереджено увагу на змінах, які проходять в металах за циклічних навантажень та за наводнювання. Висвітлено основні проблеми і задачі, які стоять під час оцінки ступеня деградації матеріалів за втомних навантажень та впливу робочих середовищ. Опрацьовано праці, які стосуються взаємодії водню зі сталями та впливу дефектів структури металів на їх деформування під час наводнювання. Оцінено вплив хіміко-технічної обробки на поверхню титану. Оскільки за хіміко-термічної обробки також змінюється шорсткість поверхні, то під час виготовлення деталі з модифікованим покриттям часто необхідно контролювати рельєф поверхні до і після модифікації. Проаналізовано особливості розвитку фазозсувної інтерферометрії для розв'язання проблем технічної діагностики матеріалів.

У **другому розділі** наведено результати комп’ютерного моделювання та вибору способу реалізації методу трикрокової фазозсувної інтерферометрії. Реалізацію методу трикрокової інтерферометрії розділено на два етапи:

- перший – реєстрація та попередня обробка інтерферограми поверхні;
- другий етап – фільтрація в частотній області отриманої фазової мапи та виділення компонентів рельєфу.

Для реєстрації інтерферограми поверхні використано інтерферометр Тваймана-Гріна. Оскільки отримана фазова мапа після первого етапу містить багато шумів, що виникають під час реєстрації та комп’ютерної обробки

інтерферограми поверхні, то для усунення шумів використано другий етап методу. Після розробки методу та математичної апробації було проведено його експериментальну апробацію. Після реєстрації інтерферограми поверхні, згідно з вище згаданими двома етапами, відтворено рельєф поверхні. Отримані результати порівняно із паспортними даними еталонних зразків. Таке порівняння показало високу збіжність та повторюваність отриманих результатів. Запропонований метод трикрокової фазозсувної інтерферометрії ліг в основу розробленого під час виконання дисертаційної роботи оптичного 3D профілометра.

У третьому розділі присвячений результатам моніторингу та аналізу змін поверхні матеріалів під дією циклічних навантажень та у робочих середовищах з використанням запропонованого автором методу трикрокової фазозсувної інтерферометрії. Досліджено процес втомного руйнування для матеріалів з різним рівнем пластичності, а саме сталі 08kp, та алюмінієвих сплавів D16T і В95Т. Показано, що вже на початковій стадії втоми металу відбувається зростання шорсткості поверхні зразків в околі концентратора напружень. Встановлено, що місце найбільшого приросту шорсткості поверхні відповідає місцю зародження втомної макротріщини. Оцінено вплив водню на поверхню сталей з різною структурою, а саме армко-заліза (феритна структура), сталі 45 (феритно-перлітна структура) та сталі У8 (перлітна структура). Показано, що поверхня досліджуваних матеріалів після наводнювання зазнавала змін як на макрорівні (зміна макрорельєфу та хвилястості), так і на мікрорівні (утворення блістерів, зміна шорсткості поверхні, утворення мікротріщин тощо). Констатовано, що зазначені вище зміни тривають значно довше ніж це відображене в літературних даних. Досліджено вплив хіміко-термічної обробки поверхні титанових сплавів на величину її шорсткості.

Висновки належним чином відображають основні результати дисертаційної роботи.

Додатки містять два акти впровадження та список опублікованих праць за темою дисертації. Акти підтверджують впровадження результатів

роботи в умовах машинобудівного підприємства ТОВ «Укрспецмаш» та у навчальний процес Національного університету «Львівська політехніка».

Ступінь обґрутованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих в дисертації, їх достовірність.

Достовірність результатів, обґрутованість наукових висновків і рекомендацій, які випливають із дисертаційної роботи І.В. Стасишина, не викликають ніяких сумнівів. Результати отримані з використанням відомих критеріїв механіки втомного руйнування, водневого матеріалознавства та хіміко-термічної обробки матеріалів. Заслуговує на увагу комплексний підхід автора до вирішення поставлених питань. Отримані результати апробовані на авторитетних міжнародних і національних науково-технічних конференціях, опубліковані в виданнях, що входять до наукометричних баз та провідних вітчизняних фахових спеціалізованих виданнях.

Наукова новизна отриманих у роботі результатів.

Вважаю, що найбільш цінним науковим здобутком роботи є розроблений метод трикрокової фазозсувної інтерферометрії, що дало змогу в часі, наближеному до реального, відтворювати рельєф поверхні з похибкою, яка не перевищує 5 нм. До важливого наукового результату можна також віднести підхід до визначення ймовірного місця зародження втомної макротріщини та розмірів втомної зони передруйнування за аналізом змін шорсткості поверхні. Цей підхід дає змогу працювати з матеріалами, що володіють довільною пластичністю. Слід також відзначити розроблену нову інформаційну технологію контролю поверхні сталей з різною структурою після дії на них водню, яка дозволила вперше дослідити динаміку змін рельєфу та визначити геометричні параметри поверхневих новоутворень – блістерів у різні моменти часу після наводнювання аж до їх розкриття протягом 14...36 діб.

Практичне значення отриманих результатів

Практичну цінність даного дослідження підтверджує той факт, що використання нового методу трикрокової фазозсувної інтерферометрії дасть змогу контролювати рельєф поверхні деталей та елементів конструкцій під час їх виготовлення, випробування та експлуатації в умовах циклічних навантажень для визначення найімовірнішого місця старту втомної макротріщини та їх залишкового ресурсу шляхом аналізу змін поверхні на нанорівні. За результатами дисертаційної роботи розроблено методику моніторингу поверхні трубної дошки та з'єднаної з нею труби під час випробувань за дії втомних корозійних навантажень та водню, який виступає елементом охолодження атомного реактора. Цю методику використано на машинобудівному підприємстві ТОВ «Укрспецмаш». Також результати роботи було впроваджено у навчальний процес Національного університету «Львівська політехніка».

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях.

Основні результати та висновки дисертаційної роботи в повному обсязі висвітлено у 25 наукових працях, зокрема, в 10 статтях у наукових фахових виданнях, з них 8 статей у виданнях, які включено до міжнародної наукометричної бази Scopus, з яких 3 у виданнях, що входять до першого і другого квартиля, 2 статті – у наукових періодичних виданнях інших держав, 13 тез і матеріалів міжнародних та всеукраїнських наукових конференцій. Автореферат дисертації повністю відповідає основним положенням дисертації. Матеріал у роботі викладено логічно, розділи взаємопов'язані і повністю розкривають поставлену в роботі мету.

Оцінка мови та стилю дисертації. Відповідність дисертації спеціальності 05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій.

Дисертаційна робота викладена професійно, кваліфіковано та грамотно. Матеріали досліджень логічно систематизовані та графічно оформлені. За

змістом дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій.

Зауваження до дисертації та автореферату

1. На ст. 12 автореферату автор стверджує, що на початковій стадії втоми металу відбувається зростання шорсткості поверхні зразків в околі концентратора напруження і наводить рис. 9-11. На цих рисунках наведено реконструйовані мапи просторових розподілів параметра шорсткості R_a для ділянки поверхні зразків, виготовлених зі сталі 08kp, з алюмінієвого сплаву Д16Т та В95Т перед навантаженням та після певної кількості циклів навантаження. З тексту автореферату та підписів до рис. 9-11 не зрозуміло, яку частину циклів до зародження макротріщини становить зазначена кількість циклів. Тому неможливо встановити чи це дійсно початкова стадія втоми. Слід відзначити, що відсутні в авторефераті дані стосовно сталі 08kp та алюмінієвого сплаву Д16Т наведено в тексті дисертації. Проте стосовно алюмінієвого сплаву В95Т такі дані відсутні, а наведено для сплаву В95пч, який ніде не згадувався.

2. Не зрозуміло, чому при проведенні досліджень (ст. 95 тексту дисертації) автор встановив різницю між розмірами втомної зони передруйнування d^* для концентраторів напружень $\varnothing = 3$ мм ($d^* = 320$ мкм) та $\varnothing = 1,5$ мм ($d^* = 158$ мкм). Коли в подальшому (ст. 96 тексту дисертації) зазначив, що розмір втомної зони передруйнування визначений для макротріщини та вирізу (не зазначено якого) приблизно збігається. Хоча тріщину можна вважати вирізом з певним радіусом закруглення. Добре було б порівняти розмір втомної зони передруйнування визначений за розробленою автором методикою та відображеній в літературних джерелах.

3. На ст. 90 тексту дисертації присутнє наступне твердження: “Повна відсутність пластичних деформацій при руйнуванні називається крихким його інколи називають пружним”. В літературі зустрічається термін “лінійно-пружна механіка руйнування (англ. LEFM)”, але не вживається термін “пружне руйнування”. Далі по тексту на цій ж сторінці наведено речення:

“Якщо ж в матеріалі в цілому перед руйнуванням відбувається пластична деформація, то такий тип руйнування називають пластичним”. Аналогічно не варто вживати термін “пластичне руйнування”, а краще використати термін “в’язке руйнування”.

4. Не зрозумілим є твердження (ст. 107 тексту дисертації), що нержавіючі сталі та нікель мають ГЦК (гранецентровану кубічну) структуру. Якщо мова йшла про кристалічну гратку, то дійсно в нікелю і в γ-заліза (аустенітні нержавіючі сталі) вона ГЦК. Що стосується структури нержавіючих сталей, то вона може бути аустенітною, феритною, мартенситною....

5. Не зрозуміло, яким чином отримано рельєф поверхні титану ВТ1-0 за температури 750°C та 900°C (рис. 3.37 дисертації). Можливо 750°C та 900°C – це температурні режими обробки, а рельєф поверхні отримано за кімнатних температур?

6. Не зрозуміло, чому в посиланні №7 (переліку опублікованих праць) подано журнал “Фізико-хімічна механіка матеріалів”, а не його англомовна версія – “Materials Science”, який входить до третього квартилю згідно наукометричної бази Scopus.

7. В дисертаційній роботі присутні орфографічні та стилістичні помилки, зокрема: в тексті дисертації невірно представлено позначення сталі 08kp (сталь 08kp, а не сталь 08КП); на ст. 99 очевидно замість “...алюмінієвих сплавів В95 та Д16т...” повинно бути “...алюмінієвих сплавів В95Т та Д16Т...” і т.д.

Однак слід підкреслити, що зроблені зауваження не знижують цінності досягнутих результатів і наукового рівня дисертаційної роботи.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому.

Вважаю, що за актуальністю, науковою новизною, обсягом проведених досліджень та практичною значущістю, дисертація **Стасишина Ігора**

Вікторовича на тему “Розроблення трикрокового методу фазозсувної інтерферометрії для контролю рельєфу поверхні елементів конструкцій”, відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук **за спеціальністю 05.02.10 – діагностика матеріалів і конструкцій.**

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук,
доцент кафедри матеріалознавства
та інженерії матеріалів Національного
університету «Львівська політехніка»

В.В. Кулик

Підпис Кулика В.В. засвідчує:

Вчений секретар Національного
університету “Львівська політехніка”
доцент, к.т.н.



Р. Б. Брилинський