

УДК 519.2:330.:658.5

ПЕРЕДДЕФЕКТНИЙ СТАН МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ТА ЙОГО ВИЗНАЧЕННЯ МАГНІТОМЕТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ

Жидков А.Б., Марченко Д.М., Бойко Г.О.

PRE-DEFECT CONDITION OF METAL CONSTRUCTIONS AND ITS REVEALING BY MAGNETOMETRIC METHODS

Zhydkov A.B., Marchenko D.M., Boiko H.O.

В статті наведено класифікацію основних дефектів металоконструкцій та розглянуто механізм та стадійність виникнення переддефектного стану в елементах металоконструкцій, які піддаються змінному навантаженню. Наведено зв'язок між концентрацією механічних напруг, яка має місце при зародженні та на початкових етапах зростання втомної тріщини і магнітними властивостями металу в цій області. Наведено результати експериментальних досліджень магнітних полів зразків з дефектами різного типу, в тому числі на початкових стадіях втомного руйнування, тобто у переддефектному стані.

Ключові слова: дефекти, переддефектний стан, магнітні властивості, металоконструкція, втомне руйнування, магнітометрія

Вступ. Якщо виходити з визначення та класифікації дефектів, то для забезпечення безаварійної експлуатації при проведенні неруйнівного контролю в першу чергу постає завдання виявлення значущих та критичних дефектів. Причому основну увагу доцільно приділити експлуатаційним дефектам, оскільки дефекти іншого виду повинні бути встановлені при виготовленні металоконструкції, або на стадії її вводу до експлуатації.

Переважаю більшість експлуатаційних дефектів можна звести до тріщин, які відрізняються тільки причинами їх виникнення кількістю та розмірами (рис. 1) [1].

Сучасна наука про міцність вважає, що субмікро- та мікротріщини є звичайним елементом дефектної структури металу, яка характерна для металоконструкцій, подібно до дислокацій та вакансій, а руйнування, як процес зародження, об'єднання та росту тріщин закінчується при втраті стійкості однією з них [2].

Метою статті є формулювання науково-обґрунтованого підходу до визначення переддефектного стану металоконструкції та обґрунтування використання магнітометрії для його визначення.



Рис. 1. Класифікація експлуатаційних дефектів

Розвиток тріщин, практично незалежно від їх походження і виду, під дією навантаження проходить за подібними сценаріями. Можна чітко виділити три стадії існування тріщини: зародження, повільний ріст, лавиноподібний ріст. Причому навіть для таких крихких матеріалів, як силікатне скло швидкість розвитку тріщини на кінцевому етапі менша у 10^7 - 10^8 разів ніж на початку її росту. Тому саме момент безпосередньо перед переходом тріщини з другої до третьої стадії доцільно вважати переддефектним станом.

Оскільки критичний розмір тріщини при її переході від другої до третьої стадії може суттєво відрізнятися для різних матеріалів та схем навантаження, то сам факт виявлення тріщини певного розміру не є ознакою настання переддефектного стану.

Розглянемо другу стадію росту тріщини більш ретельно.

Автори пропонують використовувати для визначення настання переддефектного стану металоконструкції відомості з повної діаграми втомного руйнування, на якій також можна виділити три сут-

тево різні ділянки (рис. 2), які виділено за ознакою швидкості росту тріщини.

Перша ділянка низьких швидкостей відповідає коефіцієнтам інтенсивності напруг близьким до порогового значення. Цей період зростання тріщини припадає на понад 90 % часу напрацювання конструкції на злам. На цієї ділянці тріщина росте дуже нерівномірно: скачки приросту її довжини чергуються з зупинками. Тому на першій ділянці діаграми подаються деякі усереднені значення швидкості росту втомної макротріщини.

Друга ділянка діаграми (ділянка Паріса) - прямолінійна. Прийнято вважати, що тут тріщина росте в основному рівномірно за кожен цикл навантаження.

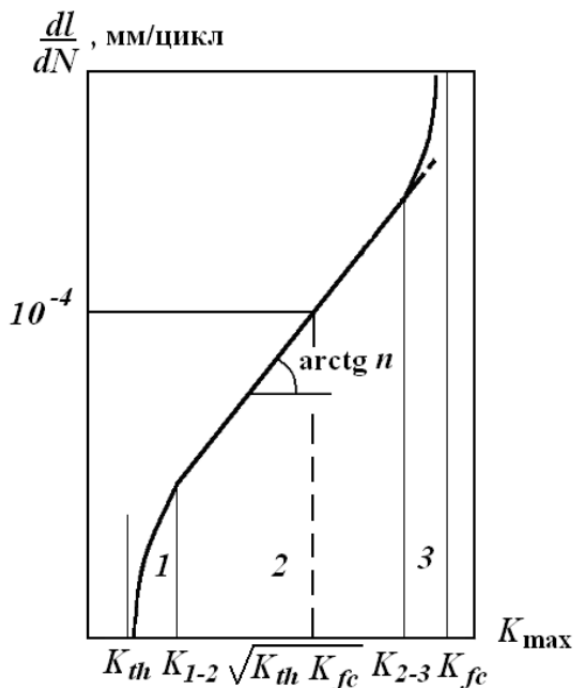


Рис. 2. Повна діаграма втомного руйнування в логарифмічних координатах:

- 1 - область низьких швидкостей росту тріщини;
- 2 – область стабільної швидкості росту тріщини при якій вона подовжується на однакову величину за кожне коливання;
- 3 – область швидкого лавиноподібного росту тріщини (область доламу)

Третя ділянка діаграми вигнута, і її крутизна збільшується в міру наближення K_{max} до критичного значення K_{fc} це стадія доламу, яка є власне стадією руйнування конструкції.

Пропонується далі не розглядати стадію виникнення тріщини, а вважати, що вона вже існує у металі і експлуатація конструкції починається з наявними мікротріщинами, які, як було зазначено вище з вірогідністю близькою до 1 присутні у металі реальної конструкції у будь-якій цікавій для розгляду її ділянці. Такий підхід відповідає підходам механіки руйнування [2, 4].

Тоді в якості критерію настання переддефектного стану можна прийняти область стабільної шви-

дкості роста тріщини, який описується формулою Паріса [5]:

$$\frac{dl}{dN} = 10^{-4} \left(\frac{\Delta K}{c} \right)^n \quad (1)$$

Вважається, що якщо значення K_{max} не перевищує K_{th} то тріщина не росте. Але для визначення настання переддефектного стану є важливим факт перевищення на кожному циклі навантаження K_{max} критичного значення K_{th} . Це свідчить про перехід процесу до другої стадії і може використовуватися в якості ознаки переддефектного стану.

Для визначення переддефектного стану автори пропонують використовувати магнітометричні засоби виявлення концентрації механічних напружень які побудовані на вимірювання власного магнітного поля виробу (метод магнітної пам'яті).

Запропонований метод ґрунтується на наступних фізичних ефектах:

- зміна індукції у феромагнетику, який знаходиться в зовнішньому магнітному полі під дією механічних навантажень (магнітопружний ефект);
- зміна вектору залишкової намагніченості феромагнітного виробу в напрямку дії максимальних напружень (магнітомеханічний ефект);
- ефект формування доменів і доменних меж на скупченнях дислокацій в зонах концентрації напружень (магнітопластика);
- ефект розсіювання магнітного поля структурними і механічними неоднорідностями в умовах природної намагніченості металу.

Сутність метода зводиться до вимірювання магнітного поля на поверхні виробу та подальшому розрахунку і візуалізації результатів.

Основними інформативними параметрами є:

- значення напруження магнітного поля по координатах (зазвичай використовують тільки дві з них (нормальна та тангенціальна складова, але можливо використання і третьої складової вектор якої направлено вглиб металу);
- градієнт магнітного поля по довжині (dH_p / dx) або по базі між каналами вимірювань.

Багатьма дослідженнями доведений зв'язок між напружено-деформованим станом металу напруженням власного магнітного поля зразка. На рис. 3. Наведено криві розподілу еквівалентних напруг та напруженість постійного магнітного поля поблизу малого отвору у навантаженому зразку.

Зв'язок між параметрами очевидний, але для визначення переддефектного стану цікаві ділянки, саме концентрації напруг. Наприклад, такі, як наведено на рис. 4.

Вимірювання магнітного поля на ділянках з високою концентрацією напруг дають різні результати в залежності від ступеня пластичної деформації та наявності чи відсутності несучільностей у металі (дефектів типу пір, тріщин, непроварів зварних швів, тощо). При вимірювання напруження магнітного поля за трьома координатами результати не дають змогу ідентифікувати дефект (рис. 5)

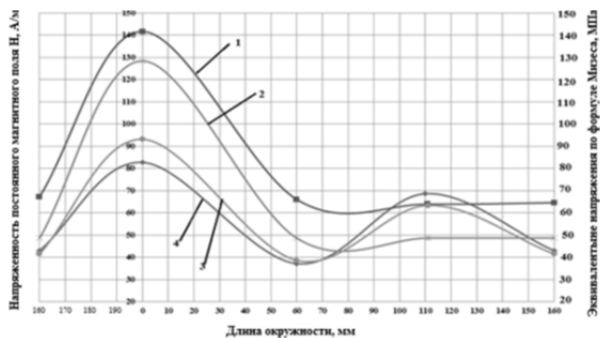


Рис. 3. Розподіл еквівалентних напруг (1, 2) та напруження магнітного поля (3,4) поблизу отвору у навантаженому зразку [6]



Рис. 7. Магнітне поле для зразків із зварним швом та поодинокую порою



Рис. 4. Зона з концентрацією механічних напруг, яка виявлена на діаграмі нормальної складової магнітних напружень

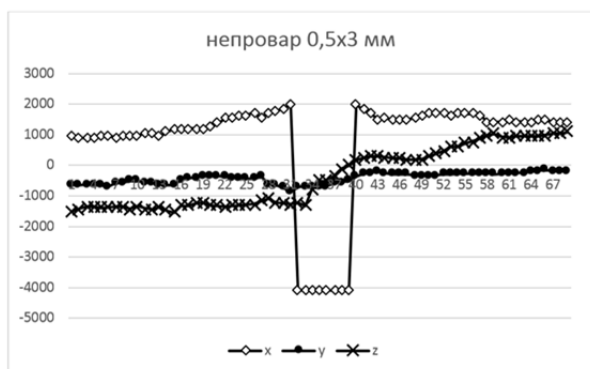


Рис. 5. Магнітне поле плоского зразка зі зварним швом та непроваром

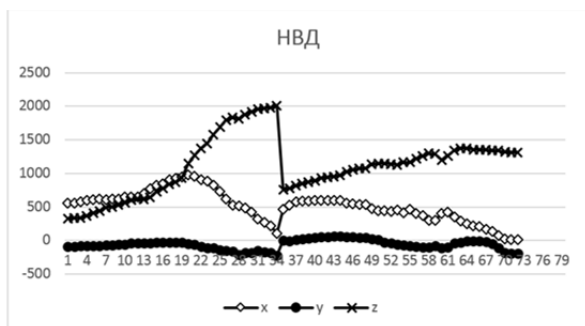


Рис. 6. Магнітне поле для зразків із зародком тріщини, яка росте внаслідок значної циклічної деформації

Для збільшення інформативності був запропонований метод візуалізації вимірювань магнітного поля, який оснований на побудові вектору магнітної індукції, що дозволяє отримувати картини зміни напрямку та величини магнітної індукції поблизу зони, де метал перебуває у переддефектному стані. Приклад наведено на рис. 8.

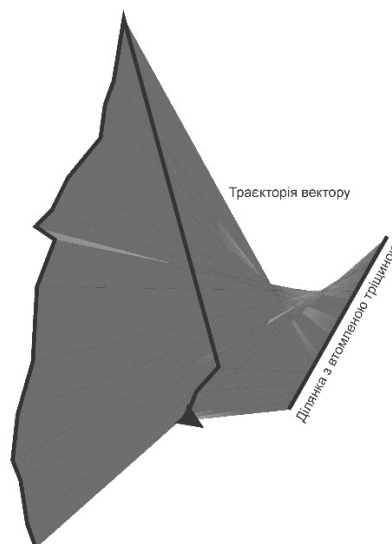


Рис. 8. Результати магнітометрії для пошуку зон у переддефектному стані у вигляді тривимірного представлення траекторії вектору напруження магнітного поля

Запропонований метод дозволяє оперативно здійснювати діагностику обладнання та має наступні переваги:

- застосування методу не потребує спеціальних намагнічуючих пристроїв, оскільки використовується явище намагнічування вузлів устаткування і конструкцій в процесі їх роботи;
- місця концентрації механічних напруг від робочих навантажень або в зоні розвитку тріщин які визначають переддефектний стан, заздалегідь не відомі і визначаються в процесі їх контролю;
- зачистки металу і інший будь-якої підготовки контрольованої поверхні метод не вимагає;

- для здійснення контролю за пропонуванним методом використовуються прилади, що мають невеликі габарити, автономне живлення і реєструючи пристрої;

- спеціальні пристрої для сканування дозволяють контролювати металоконструкції в режимі експрес - контролю зі високою швидкістю.

Висновки. Переддефектний стан металоконструкції, яка підлягає циклічному навантаженню може бути визначений як ділянка на повній діаграмі руйнування при якій відбувається стабільний ріст тріщини. Це супроводжується значною концентрацією напруг по фронту росту тріщини та виявляється магнітометричними методами у вигляді різкої зміни напрямку, або величини напруження магнітного поля, що може бути надійно зафіксовано за допомогою сучасних магнітометричних приладів. Використання таких методів НК має беззаперечні переваги перед традиційними методами.

Л і т е р а т у р а

1. ДСТУ 2925-94. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення
2. Херцберг Р.В. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов. – М.: Металлургия, 1989. – 576 с.
3. Гуревич С.Е., Едидович Л.Д. О скорости распространения трещины и пороговых значениях коэффициента интенсивности напряжений в процессе усталостного разрушения. В кн.: Усталость и вязкость разрушения металлов. – М.: Наука, 1974. – С. 36–79.
4. Нотт Дж. Основы механики разрушения. – М.: Металлургия, 1978. – 256 с.
5. Ярема С.Я., Микитишин С.И. Аналитическое описание диаграмм усталостного разрушения материалов // ФХММ. – 1975. – № 6. – С. 47–55.
6. Влияние напряженно-деформированного состояния оболочковой конструкции на магнитные характеристики. Хайбуллина Л.В., Васильев В.В. // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. 2013., №5, с. 376 – 384

R e f e r e n c e s

1. DSTU 2925-94. Product quality. Quality assessment. Terms and definitions
2. Herzberg R.V. Deformation and mechanics of structural materials destruction. - Moscow: Metallurgy, 1989. - 576 pp.
3. Gurevich SE, Edidovich L.D. The rate of crack propagation and the threshold values of the stress intensity factor in the process of fatigue failure. In the book: Fatigue and viscosity of metal destruction. - Moscow: Nauka, 1974. - С. 36-79.
4. Nott J. Fundamentals of the Mechanics of Destruction. - Moscow: Metallurgy, 1978. - 256 p.

5. Yarema S.Ya., Nikitshyn SI, Analytical description of fatigue fracture diagrams of materials // PhMMM. - 1975. - No. 6. - С. 47-55.
6. Influence of the stress-deformed state of the shell structure on the magnetic characteristics. Khaybullina LV, Vasiliev VV // Oil and gas business: electronic scientific journal. 2013, No. 5, p. 376 – 384

Жидков А.Б., Марченко Д.Н., Бойко Г.А. Преддефектное состояние металонструкций и его определение магнитометрическими методами

Аннотация: В статье приведена классификация основных дефектов металлоконструкций и рассмотрен механизм и стадийность возникновения преддефектного состояния в элементах металлоконструкции, которые подвергаются переменному нагружению. Изложена связь между концентрацией механических напряжений, которая имеет место при зарождении и на начальных этапах роста усталостной трещины и магнитными свойствами металла в этой области. Приведены результаты экспериментальных исследований магнитных полей образцов с дефектами различного типа, в том числе на начальных стадиях усталостного разрушения, то есть в преддефектном состоянии.

Ключевые слова: дефекты, преддефектное состояние, магнитные свойства, металлоконструкция, усталостное разрушение, магнитометрия

Zhydkov AB, Marchenko DN, Boyko GA. Pre-Defect condition of Metal Constructures and Its revealing by Magnetometric Methods

Annotation: The article gives a classification of the main defects of metal structures and considers the mechanism and stages of the appearance of the pre-defect state in the elements of the metal structure that are subject to variable loading. The relationship between the concentration of mechanical stresses that occurs during nucleation and at the initial stages of growth of a fatigue crack and the magnetic properties of a metal in this region is described. The results of experimental studies of magnetic fields of samples with defects of various types, including at the initial stages of fatigue failure, that is, in the predefect state, are presented.

Key words: defects, predefective state, magnetic properties, metal structure, fatigue failure, magnetometry

Жидков Андрій Борисович, к.т.н., доц., доцент кафедри електричної інженерії СХУ ім. В.Даля zhand.cmw@ukr.net
Марченко Дмитро Миколайович, д.т.н., проф. перший проректор СХУ ім. В.Даля, mdnsnumdn@gmail.com
Бойко Григорій Олексійович, к.т.н., доц., начальник НДЧ СХУ ім. В.Даля, ednil-uni@ukr.net

Рецензент: д.т.н., проф. **Стенцель Й.І.**

Стаття подана 15.12.2017.