

А.Б. ЖИДКОВ (канд. техн. наук, доц.)
Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля
zhand.cmw@ukr.net

ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕДДЕФЕКТНОГО СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ ПРИ ВТОМНОМУ РУЙНУВАННІ ЗА ДОПОМОГОЮ МАГНІТОМЕТРИЧНИХ МЕТОДІВ.

В роботі доведено актуальність та проведено обґрунтування використання магнітометричних методів для діагностики переддефектного стану металоконструкцій. Наведений причинно-наслідковий зв'язок між виникненням переддефектного стану при втомному руйнуванні, напружено-деформованим станом в дефектній зоні та магнітними характеристиками металу цієї зони. Визначено, що магнітні характеристики металу є не тільки структурно-чутливими, а й несуть інформацію про попередні деформаційні процеси, які мали місце у певній ділянці металу. Наведено результати випробувань методу, який будується на використанні залишкового намагнічування металу (методу магнітної пам'яті металу) для діагностики переддефектного стану сталевих конструкцій.

Ключові слова: *металеві конструкції, втомне руйнування, пластична деформація, режими експлуатації, концентрація напруг, магнітометрія, залишкове намагнічування, неруйнівний контроль, прилад,*

Більшість конструкцій та механізмів в процесі експлуатації піддаються дії змінного навантаження. Навіть в конструкціях, які вважаються навантаженими статично, існують елементи для яких змінною складовою нехтувати неможна. Обстеження багатьох конструкцій показує, що в них з високою вірогідністю розвиваються втомні тріщини саме в елементах, які піддаються змінному навантаженню.

Поряд з тим сам процес розвитку втомного руйнування на стадії зародження та повільного росту втомної тріщини не має зовнішніх ознак. А фінальна стадія руйнування відбувається за дуже короткий проміжок часу. Тому створення засобів діагностики настання переддефектного стану для елементів металоконструкцій, яким притаманно втомне руйнування є дуже актуальним. Переддефектний стан будемо розуміти, як такий стан металу, при якому наявна тріщина збільшує свою довжину за кожний цикл коливань (стадія стабільного росту).

Постановка проблеми. Для переддефектного стану металевого елемента конструкції характерним є висока концентрація напруг в металі по фронту росту тріщини та безпосередньо перед ним і зменшення щільності металу в напрямку росту тріщини (розпушення металу). Пластичність металу в цих ділянках вже вичерпано. Оскільки процес немає зовнішніх прояв (немає деформації формозміни, не змінюється стан поверхні елемента конструкції, не видно механічних пошкоджень), для визначення такого стану доводиться використовувати опосередковані методи.

Аналіз попередніх дослідження. На даний час визначення переддефектного стану проводиться за допомогою різних методів [1-4]. Всі вони, як було сказано вище, є опосередкованими, тому не дають однозначної відповіді, можна далі експлуатувати елемент чи ні? Але для використання багатьох з них потрібна дорога апаратура і складна процедура діагностики. Магнітометричні методи в цьому сенсі володіють певними перевагами, але застосування їх обмежується через нерозуміння їх фізичної сутності та, відповідно можливостей і обмежень.

Мета роботи. В статті зроблено спробу довести можливість визначення переддефектного стану, використовуючи зв'язок між магнітними властивостями металу та його напружено-деформованим станом і внутрішньою тонкою структурою.

Викладення основного матеріалу. Як відомо, напружено-деформований стан є причиною, та характерною ознакою втомного руйнування. При оцінці напружено-деформованого стану металоконструкцій в основу методик, які використовуються при НК покладено уявлення про наявний зв'язок між будовою (хімічним складом, наявністю та розподілом фазових включень, дислокаційною структурою) металів та їх магнітними характеристиками. Відома та багаторазово підтверджено наявність кореляційних зв'язків між магнітними властивостями (магнітна проникність та параметри магнітного гістерезису) і внутрішнім станом металу. Феромагнітні матеріали, переважно сталі, які в основному використовуються в металоконструкціях є магніточутливими до таких параметрів як фазовий склад, щільність дислокацій, хімічний склад та ступінь впорядкованості зерен металу [5]. Оскільки напружено-деформований стан, концентрація напруг, дислокаційна структура та фазовий склад або неможливо, або дуже складно визначити неруйнівними методами, то їх оцінюють опосередковано, вимірюючи магнітні характеристики матеріалу і на підставі кореляційних залежностей, між ними та шуканою характеристикою.

Переважно для визначення магнітних характеристик матеріалу, а відповідно і напружено-деформованого стану використовуються багаторазове перемагнічування ділянок деталей та конструкцій із фіксацією таких хара-

ктеристик, як коерцитивна сила H_c , залишкова індукція B_r , залишкова намагніченість M_r та магнітна проникність (сприйнятливність) речовини μ . Для пошуку дефектів, які являють собою порушення суцільності металу зазвичай використовують постійне намагнічування та вивчення «рисунок магнітних ліній» (магніто-порошковий метод), але вимірювання магнітних характеристик для локальних ділянок також може надати картину розподілу магнітних властивостей, їх аномальних значень та пов'язаних з ними дефектів.

Для визначення переддефектного стану найважливішими є концентрація механічних напруг та дислокаційна (тонка) структура металу. Розглядаючи руйнування під дією статичного, або динамічного навантаження різного роду можна стверджувати, що для більшості конструкційних сталей йому передують значна пластична (макро- чи мікро-) деформація до вичерпання межі пластичності металу. Враховуючи те, що основним механізмом пластичної деформації в сталях є дислокаційний, перед руйнуванням спостерігається генерація і масований рух дислокацій вздовж площин ковзання під дією зовнішніх та внутрішніх напруг. Оскільки будь-яка металева конструкція містить на мікрорівні велику кількість дефектів (тих самих дислокацій, включень, границь фаз, тощо), рух переважної більшості дислокацій зупиняється біля таких бар'єрів. В результаті стохастичних актів рух-зупинка на бар'єрі, більшість дислокацій займає положення, яке відповідає мінімуму енергії у даних обставинах. Практично це означає, що після значної пластичної деформації велика кількість дислокацій є заблокованою для «вільного» руху біля бар'єрів різного типу, наприклад, і переважно нерухомих дислокацій (так званий дислокаційний ліс). Для зрушення цих дислокацій потрібна енергія на порядки більша, ніж в нормальному стані. Це спричиняє підвищений супротив деформації, ріст твердості та міцності. Таке положення не може не впливати на магнітні домени, які змінюють своє положення та розміри під час перемагнічування феромагнетиків.

Враховуючи вищевикладене можна пояснити подібність поведінки механічних властивостей, наприклад величини залишкової пластичної деформації ε_{pl} та магнітних характеристик деформованого матеріалу, наприклад величини коерцитивної сили H_c . Дослідження свідчать про високу подібність як рівнянь, так і графічних зображень петель гістерезису для коерцитивної сили та пластичної деформації (рис. 1) [5].

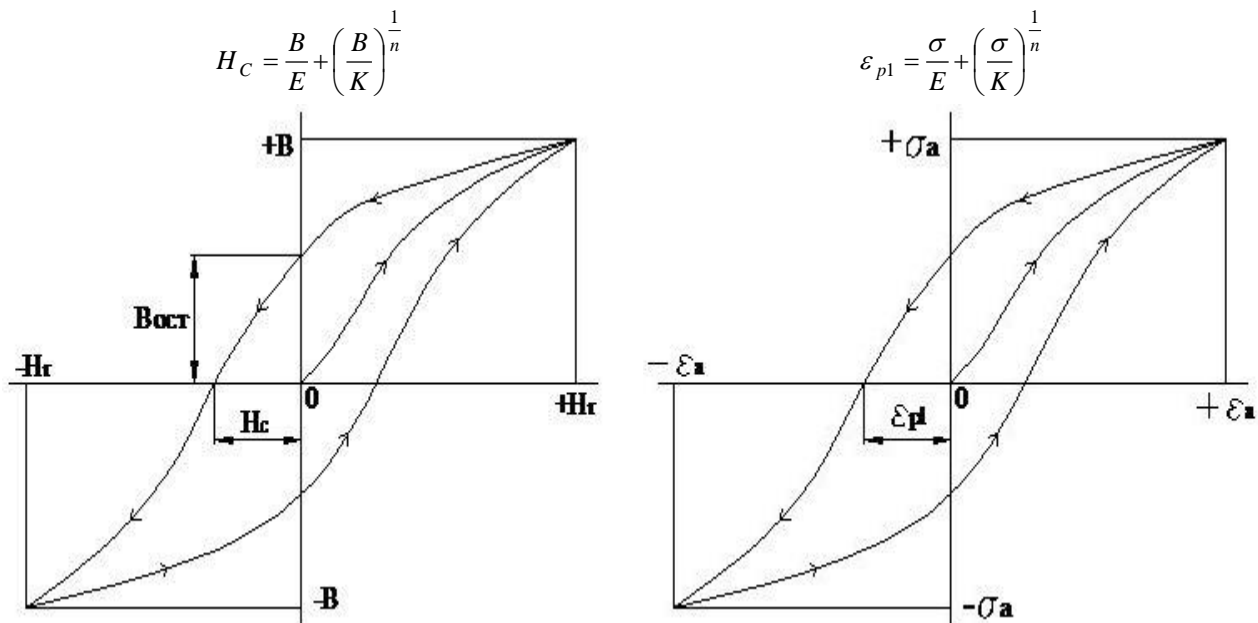


Рисунок 1 - Магнітна і деформаційна петлі гістерезису при МЦВ [5]

Тут необхідно зазначити, що коерцитивна сила обрана в якості інформаційного параметру тільки завдяки тому, що вона відносно легко визначається за допомогою ферозондових датчиків, які широко використовуються в магнітометрії. Але головне тут те, що вимірюючи коерцитивну силу при перемагнічуванні досліджуваної ділянки деталі можна робити висновок про величину залишкової мікропластичної деформації, а як наслідок про ступінь втоми металу на цій ділянці. Це дає змогу робити прогноз довговічності та залишкового ресурсу і визначати настання переддефектного стану.

Зазвичай конструкції для яких характерним є змінне навантаження виготовляють із сталей, для яких є нехарактерним крихке руйнування. Це переважно низьковуглецеві та низьколеговані ферито-перлітні, або аустенітні сталі. Практично всі ці сталі є такими, в яких міцність та твердість зростають при зростанні ступеня пластичної деформації, тобто є такими, що пластично-зміцнюються (механізм цього зміцнення описано вище). Одночасно в них зростає коерцитивна сила, тобто підвищується магнітожорсткість (магнітотвердість) при початковій досить невеликій величині $H_c = 1,5 - 10$ А/см. Досліди вказують на наявність практично лінійного зв'язку між коерцитивною силою та механічними властивостями для подібних сталей, що дозволяє використовувати результати магнітометрії для визначення напружено-деформованого та структурного стану елементів металоконструкцій.

В якості прикладу можна навести графічне відображення зв'язку між внутрішніми напругами та магнітними характеристиками для типових представників подібних сталей (рис. 2) [6].

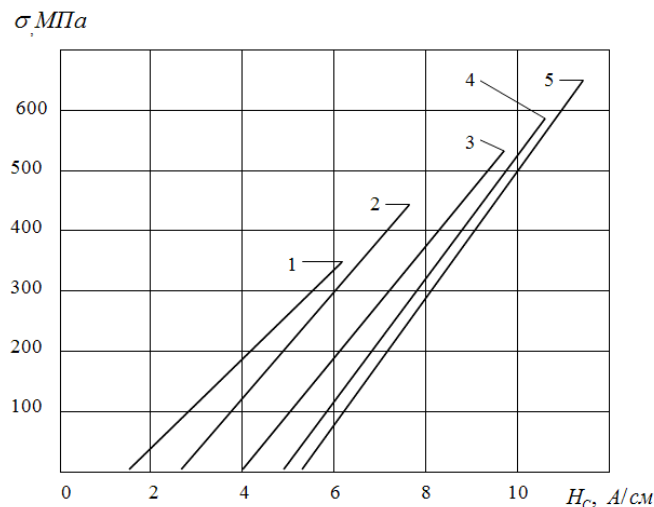


Рисунок 2 – Зв'язок між коерцитивною силою та внутрішніми напругами для низьковуглецевих та низьколегованих сталей: 1 – АСтЗкп; 2 – ВСтЗсп; 3 – Сталь 09Г2С; 4 – Сталь 17Г1С; 5 – Сталь 20ХН3А [6]

Для контролю напружено-деформованого стану з використанням магнітних параметрів треба зробити співставлення магнітних та механічних характеристик матеріалу.

Так при відсутності внутрішніх напруг матеріал деталі буде володіти деяким початковим значенням коерцитивної сили, яке можна позначити, як H_0 . Для будь-якої марки з найбільш використаних сталей воно буде мінімальним з можливих.

Далі впродовж зростання напруг та пружно-пластичної деформації значення коерцитивної сили буде збільшуватися і можна встановити наступні важливі значення:

$H_{п}$ – значення коерцитивної сили, яке відповідає межі плинності матеріалу (умовний перехід деформації з пружної в пластичну);

$H_{м}$ - значення коерцитивної сили, яке відповідає межі міцності матеріалу (стан безпосередньо перед руйнуванням при статичному навантаженні);

$H_{в}$ - значення коерцитивної сили, яке відповідає межі втоми (може бути різним в залежності від режиму роботи деталі, асиметрія циклу, частота навантаження, тощо);

Використовувати певні порогові значення коерцитивної сили можна в залежності від умов роботи і відповідно принципів проектування деталі. В одному випадку це може бути $H_{п}$, при статичному навантаженні деталі, в умовах циклічного навантаження, особливо при схильності до малоциклової втоми, в якості порогового значення може застосовуватися $H_{в}$. Цікавим є факт, що для багатьох досліджених сталей $H_{п} \approx H_{в}$. Можна припустити, що магнітні властивості металу нечутливі до виду навантаження (статичне чи динамічне), але чутливі саме до деформаційних процесів. Природу такої чутливості ми розгледіли раніше.

При організації магнітометричного контролю стану металоконструкцій з використанням в якості інформаційного параметру коерцитивної сили необхідно дотримуватися міжнародного стандарту ІСО 4301, та міждержавного ГОСТ 30415-96.

Для використання магнітометричних вимірів при контролі стану металоконструкцій в Україні розроблено відповідні методичні вказівки «Методичні вказівки з проведення магнітного контролю напружено-деформованого стану металоконструкцій підйомних споруд та визначення їх залишкового ресурсу: МВ 0.00-7.01-05» де пропонується використовувати номограми, які пов'язують значення коерцитивної сили та рівень напруг (хоча на думку автора доцільно було б використовувати ступінь пластичної деформації чи накопичення втомних пошкоджень). Номограми побудовано на підставі експериментів на зразках з статистичною обробкою експериментальних даних відповідно діючого ГОСТ 30415-96 [7, 8].

Суть оцінки залишкового ресурсу ті визначення можливості подальшої експлуатації згідно МВ 0.00-7.01-05 полягає в порівнянні максимального значення коерцитивної сили, отриманої при обстеженні ділянок відповідальних деталей чи частин металоконструкцій з пороговими значеннями. Згідно сучасних уявлень початкове значення величини коерцитивної сили безперервно, але нерівномірно зростає під час експлуатації, як результат впливу навантаження і зміни напружено-деформованого стану (зростання внутрішніх напруг та деформацій). Пропонується розділити весь термін експлуатації металоконструкції на три етапи, які характеризують ступінь накопичення втомних пошкоджень чи вичерпання пластичності для статичного режиму навантаження.

Згідно МВ 0.00-7.01-05 виділяють такі режими експлуатації металоконструкцій, за значенням коерцитивної сили:

- режим надійної експлуатації, при $H_{max} \ll H_{п}$. Цей режим відповідає роботі в пружній області діаграми

навантаження сталі. Автор вважає використання такого порогового значення для визначення режиму найменш обґрунтованим, бо навіть при напругах, значно менших межі плинності існують ділянки в яких мікропластична деформація має місце, але це не призводить до зміни напружено-деформованого стану деталі в цілому, а зазвичай є первинним перерозподілом та врівноваженням внутрішніх напруг;

- режим контрольованої експлуатації при $H_{\max} \leq H_{п}$. Цей режим відповідає початку пластичної деформації і є найбільш тривалим при нормальних умовах експлуатації;

- критичний режим експлуатації при $H_{п} \leq H_{\max} \leq H_{м}(H_{в})$. Цей режим відповідає суттєвій сталій пластичної деформації, при якій відбувається розвиток зародків втомних тріщин. Це і є практично переддефектний стан, але вже кінцева його стадія.

Рекомендується при роботі конструкції в режимі контрольованої експлуатації організувати постійний контроль за елементами металокопункції, які працюють в цьому режимі та відслідковувати динаміку розвитку втомі періодично відслідковуючи ріст коерцитивної сили для всіх елементів металокопункції

При визначенні критичного режиму для конструкції необхідно перевести її в режим роботи, який виключає перевантаження (наприклад для підйомних пристроїв обмежити максимальну вагу), провести підсилення деталей та елементів конструкції, для яких значення коерцитивної сили наближається до верхнього порогового значення і зменшити період між повними обстеженнями. Експлуатація металокопункції в критичному режимі можлива тільки тимчасово, як вимушена міра, з обов'язковим плануванням ремонту такої конструкції.

На даний час проведення магнітометричного контролю стану металокопункцій порталних кранів, які відпрацювали нормативний термін є обов'язковим етапом при проведенні їх експертного обстеження для дозволу подальшої експлуатації (нормативний документ - ОМД 22460848.003-2012).

Необхідно зазначити, що визначення критичного режиму експлуатації для різних конструкцій повинно відбуватися з урахуванням багатьох складових. Так, відомо, що коерцитивна сила при зростанні навантаження зростає нерівномірно і характер її зростання суттєво різниться в залежності від матеріалу. В якості прикладу можна розглянути результати дослідження для випадку навантаження плоских зразків із сталей 09Г2С, Ст3пс, Ст0 (табл. 1 та рис 3) [7].

Таблиця 1 - Результати дослідження зростання коерцитивної сили від прикладеного одновісного навантаження до плоских зразків із сталей 09Г2С, Ст3пс, Ст0

Сталь 09Г2С									
Напруга що, виникає від прикладеного навантаження, МПа	0	92	33	67	08	50	92	50	90
Нс, А/см	3,66	4,22	4,4	4,16	4,58	5,3	8,2	9,0	9,5
ВСт3пс									
Напруга що, виникає від прикладеного навантаження, МПа	0	267	225	300	342	383	417	458	480
Нс, А/см	2,98	2,87	2,86	2,52	3,3	5,41	6,21	7,11	7,5
БСт0кп									
Напруга що, виникає від прикладеного навантаження, МПа	0	200	233	267	300	333	367	400	433
Нс, А/см	2,84	2,76	2,98	2,54	3,22	7,06	7,44	7,81	8,42

$H_c, A/cm$

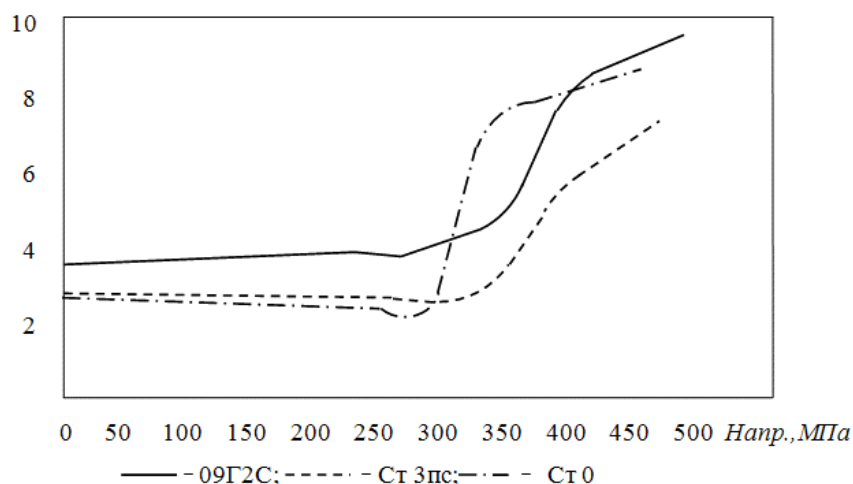


Рисунок 3 - Залежності коерцитивної сили від величини одновісної напруги для напруг в типових сталях для металокопункцій [7]

Коерцитивна сила з ростом навантаження, а відповідно напруг та величини деформації зростає в 1,5 – 2 рази, що є досить суттєвим підвищенням, цілком придатним для використання в якості інформації про напружено-деформований стан деталі. Причому необхідно зазначити, що відчутний ріст відбувається тільки при переході від пружної до пружно-пластичної деформації, а в пружній області значення коерцитивної сили майже стабільне. Різниця характеру кривих для сталей 09Г2С, ВСтЗпс (більш плавне зростання коерцитивної сили в пружно-пластичній області деформації) і сталі БСт0кп (різке збільшення коерцитивної сили) може бути пояснена яскраво вираженим «зубцем пластичності у останній».

Використання коерцитивної сили в якості інформаційного параметру потребує перемагнічування ділянки металу в процесі вимірювання, що вимагає застосування апаратури з певними параметрами щодо потужності, частоти перемагнічування і т.п. Тому в деяких випадках для експрес-діагностики більш доцільно використовувати інші магнітні величини.

Відомо, що металокопструкції постійно працюють під дією більш-менш постійних зовнішніх магнітних полів (наприклад поле Землі), які намагнічують метал певним чином. Ступінь намагнічування, та розмагнічування змінюються не тільки при зміні магнітних полів, але і разом зі зміною структури, напружено-деформованого стану, особливо при суттєвому навантаженні, що призводить до накопичення значної пластичної деформації, концентрації напруг, тощо. Тому можна вважати, що кінцевий стан намагніченості деталі є результатом взаємодії магнітних полів та структурних і деформаційних перетворень, що відбувалися у деталі під час експлуатації. На цьому ґрунтується метод магнітної пам'яті металу, який використовує комбінацію ефектів, пов'язаних із зміною магнітних властивостей металу при механічному впливі.

Розроблено та науково обґрунтовано спосіб визначення ступеня втомних пошкоджень, який засновано на ефекті – магнітопластики, що лежить в основі метода магнітної пам'яті металу [8, 9]. Для цього використовується діаграма магніто-механічного стану феромагнетика при взаємодії силових і магнітних полів. Запропонований спосіб був реалізований, наприклад у тестовому зразку приладу, який розроблено у ВП «НДІ «Іскра» СХУ ім. В. Даля [10]. Прилад дозволяє з високою точністю вимірювати напруженість магнітного поля на поверхні металокопструкцій одночасно в трьох просторових координатах.

В якості сенсора для вимірювання магнітного поля було використано модуль на основі чутливого елемента НМС5883L.

Тестування приладу на обраних зразках виявило наступну закономірність. Природні окисні плівки невеликої товщини та лакофарбові покриття суттєво не впливають на чутливість приладу. Товсті покриття, особливо, ті, що місцями відшаровуються погіршують чутливість приладу. Граничною межею можна вважати 1 мм, при якому чутливість зменшується вдвічі.

Тому, для надійної діагностики металокопструкції необхідно зняти на ділянках, які обстежуються старі багатшарові лакофарбові покриття. Тонкий шар іржі, окисні плівки, та «свіжі» лакофарбові покриття на чутливість приладу практично не впливають.

Випробування довели, що незначні відхилення датчика при ручному переміщенні при видкості руху у межах 0 – 20 мм/с не впливає на чутливість приладу.

При випробуванні на зразках було встановлено чутливість приладу до відносного розташування «дефекту». Для надійного його знаходження необхідно вести сканування поперек розташування дефекту. Найбільш невдалий напрямок – під кутом 45 градусів відносно повздовжньої осі дефекту.

Результати випробування приладу та методу довели, що прилад чутливо реагує на локальне значне зменшення перетину зразку. Тобто чутливість до дефектів типу тріщина, пора, непровар, тощо дуже висока. Як було показано раніше має значення розташування дефекту відносно напрямку сканування. Бажано сканувати в напрямку, поперек тріщини чи непровару. Якщо вірогідний напрямок дефекту визначити складно, необхідно проводити сканування у щонайменше у двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Прилад суттєво по-різному реагує на ділянки металу, який було деформовано із різною швидкістю. Місця, де метал був деформований швидко – мають набагато більш виражені зміни у магнітному полі, ніж місця, де метал був деформований статичним повільно навантаженням.

На рис. 4. наведено отримані траєкторії вектору напруження магнітного поля для різних характерних ділянок, що дозволяє їх впевнено ідентифікувати.

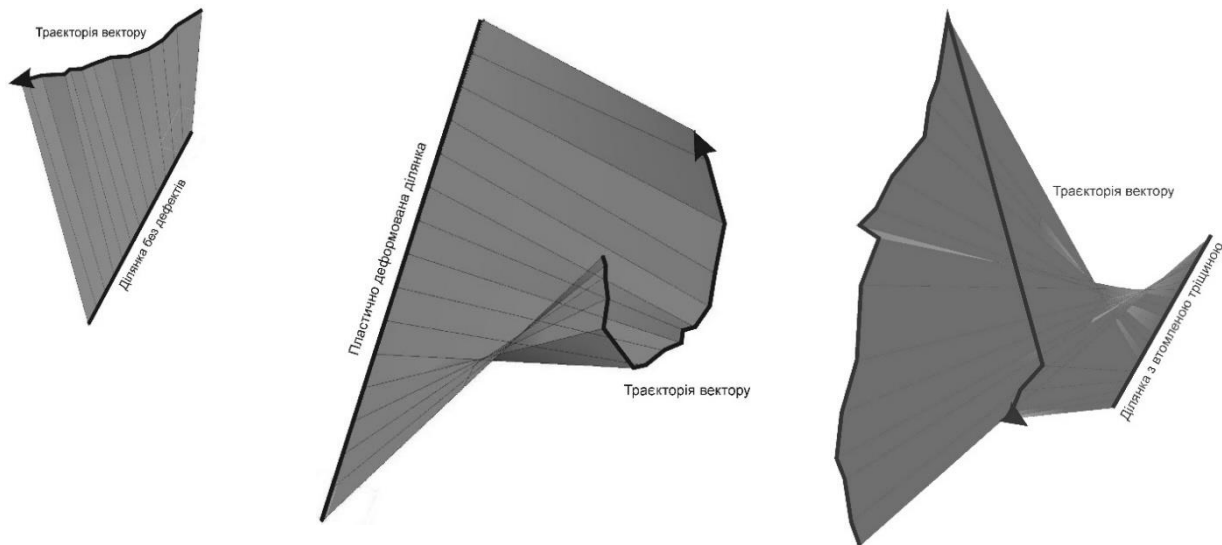


Рисунок 4 - Візуалізація у вигляді тривимірного представлення траєкторії вектору напруження магнітного поля

З рис 4. видно, що на відміну від ділянки без дефектів, ділянка із зоною пластичної деформації, але без порушення суцільності металу, характеризується значною зміною напрямку вектору магнітної напруженості, але ця зміна відбувається плавно. При виникненні втомленої тріщини, тобто порушенні цілісності металу, спостерігається різка зміна, як напрямку, так і величини вектору магнітної напруженості. Саме така ознака є характерною для дефектів, що супроводжуються порушенням цілісності металу (пор, тріщин, зазорів, тощо). А для зон пластичної деформації у переддефектному стані характерним є плавне «закручення» вектору, із збільшенням ступеня такого «закручення» із ступенем деформації металу. При переході пластичної деформації із стадії накопичення втомних пошкоджень у стадію утворення тріщин на траєкторії вектору з'являються ділянки з різкими змінами величини та напрямку.

Висновки. Для діагностики переддефектного стану металоконструкцій доцільно використовувати магнітометричні методи, які побудовано на вимірювання коерцитивної сили та напруження власного магнітного поля (МІМ). Останній метод дає змогу ідентифікувати дефекти та переддефектний стан за зміною напрямку та величини вектору напруження магнітного поля. Досліди проведені на багатьох зразках підтверджують, що такі особливості характерні для багатьох дефектів і переддефектних станів в феромагнітних сталях. Запропонований спосіб та прилад мають гарну перспективу для удосконалення через малі габарити, вагу, високу чутливість та можливість використання сучасних методів обробки сигналу та візуалізації результатів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Использование оптического и акустического методов контроля для оценки поврежденности сталей на ранних стадиях усталостного разрушения [Текст] / Ф.М. Митенков, В.В. Мишакин, С.Н. Пичков [и др.] // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2009. – № 12 – С. 40–45.
2. Створення сучасних методів технічної діагностики працездатності систем пароводяного тракту енергоблоків ТЕС / І. М. Дмитрах, А. М. Сиротюк, Б. П. Русин та ін. // Цільова комплексна програма НАН України “Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин”: Зб. наук. статей за результатами, отриманими в 2004–2006 рр. – К.: Ін-т електрозварювання ім. Є. О. Патона, 2006. – С. 128–132.
3. Auerkari, P.; Salonen, J.; Borggreen, K. Guidelines for Evaluating in-Service Creep Damage; Nordtest Report NT TR 302; VTT
4. Grosse CU, Reinhardt HW, Fink F (2003) Signal based acoustic emission in civil engineering. ASCE J Mater Civil Eng 15: 274-279 Manufacturing Technology: Espoo, Finland, 1995
5. Губский С. А. Контроль напряженного состояния сталей по коэрцитивной силе / С. А. Губский, В. И. Сухомлин, В. И. Волох – Машинобудування, 2014. – №13. – С. 6-10.
6. Патент України № 59259 G01N 27/90, опубл. 15.03.2001, бюл. № 2. Прохідний електромагнітний перетворювач для контролю сталевих канатів / Бережинський В.І., Брюханов О.М., Софієв В.М. та ін.
7. Швець С. М. Поєднання електромагнітного і магнітного методів при ферозондовій дефектоскопії великогабаритних деталей // Автореферат канд. дис. – Івано-Франківськ, 2008. – 20 с.
8. Патент України №103155, G01R 33/02, опубл. 10.12.2015, бюл. №23. Диференційний ферозонд / Смирний М.Ф., Марченко Д.М., Шапран Є.М., Бойко Г.О. та ін.
9. Габльовська Н. Я. Система контролю розвитку мікротріщин у напружено-деформованих металічних конструкціях // Автореферат канд. дис. – Івано-Франківськ, 2008. – 20 с.

10 Марченко Д. М. Визначення переддефектного стану металоконструкцій об'єктів підвищеної небезпеки / Д. М. Марченко, М. Ф. Смирний, Г. О. Бойко, А. Б. Жидков. – Северодонецьк: Вид-во СЧУ ім. В.Даля, 2016. – 268 с.

REFERENCES

1. Mittenkov, F.M.(2009) The use of optical and acoustic control methods to assess the damage of steels in the early stages of fatigue failure [Text] / F.M. Mittenkov, V.V. Mishakin, S.N. Pichkov [and others] // Factory Laboratory. Diagnostics of materials. - 2009. - No. 12 - P. 40-45.
2. Dmitrach, I.M.(2006) Creation of modern methods of technical diagnostics of efficiency of systems of the steam-water tract of power units TES [Text] / I. M. Dmitrach, A. M. Syrotyuk, B. P. Rusin and others. // Target complex program of the National Academy of Sciences of Ukraine "Problems of the resource and safety of the exploitation of structures, structures and machines" :: 36. sciences Articles on the results obtained in 2004-2006 - К .: Institute of Electric Welding E. O. Paton, 2006. - P. 128-132.
3. Auerkari, P .; Salonen, J and Borggreen, K. (2001) Guidelines for Evaluating In-Service Creep Damage; Nordtest Report NT TR 302; VTT
4. Grosse CU, Reinhardt HW and Fink F (2003) Signal based acoustic emission in civil engineering. ASCE J Mater Civil Eng 15: 274-279 Manufacturing Technology: Espoo, Finland, 1995
5. Gubsky, S.A. (2014) Control of the stress state of steels on the coercive force / S. A. Gubsky, V. I. Sukhomlin, V. I. Volokh - Machine-Building, 2014. - No. 13. - P. 6-10.
6. Patent of Ukraine № 59259 G01N 27/90, published by. March 15, 2001, bul. № 2. Passage electromagnetic converter for control of steel ropes / Berezhinsky V.I., Bryukhanov O.M., Sofiev V.M. etc.
7. Shvets, S.M, (2008) A combination of electromagnetic and magnetic methods for ferro-zone defectoscopy of large-sized parts // Abstract abstract. dis - Ivano-Frankivsk, 2008. - 20 p.
8. Patent of Ukraine №103155, G01R 33/02, published by. 10.12.2015, bullet. No. 23 Differential ferosodium / Smirny M.F., Marchenko D.M., Shapran E.M., Boyko G.O. etc.
9. Gablevskaya, N. Ya. (2008) Control system of microcracks development in stressed-deformed metallic constructions [Text]// Autore abstract candidate. dis - Ivano-Frankivsk, 2008. - 20 p.
- 10 Marchenko, D.M. (2016) Determination of the defect state of metal structures of high-risk objects / D.M. Marchenko, M.F. Smirny, G.O. Boyko, A. B. Zhydkov. - Severodonetsk: View of the V. Dahl EUNU, 2016. - 268 pp.

Надійшла до редколегії

Рецензент: проф. Марченко Д.М.

A.B.Zhydkov

Volodymyr Dahl East Ukrainian National University

Determination of the pre-defective state of element of metal constructions at fatigue failure by magnetometric methods. The paper has proved the relevance and substantiation of the use of magnetometric methods for diagnostics of the defect state of metal structures. The causal relationship between the occurrence of the defect state with fatigue failure, the stress-strain state in the defect zone and the magnetic characteristics of the metal of this zone are given. It is determined that the magnetic characteristics of the metal are not only structurally sensitive, but also carry information on the previous deformation processes that took place in a certain region of the metal. The results of the test of a method based on the use of residual magnetization of a metal (a method of magnetic memory of a metal) for the diagnostics of the defect state of steel structures are presented.

Keywords: *metal constructions, fatigue fracture, plastic deformation, operating modes, stress concentration, magnetometry, residual magnetization, non-destructive control, device,*