

СЕЛЕКТИВНЕ ВИЯВЛЕННЯ ДЕФЕКТІВ У ТОНКОСТІННИХ ВИРОБАХ ІЗ АУСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ НАКЛАДНИМ ВИХРОСТРУМОВИМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ

В. М. УЧАНІН

ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАНУ, 79060, м. Львів, вул. Наукова, 5. E-mail: vuchanin@gmail.com

Представлено накладний вихрострумний перетворювач подвійного диференціювання високої роздільної здатності діаметром 3 мм для дефектоскопії тонкостінних оболонок. Показано високу чутливість до поверхневих і підповерхневих дефектів по всій товщині об'єкта контролю. Показано можливість селективного виявлення дефектів заданої глибини залягання, а також можливість заглушувати сигнал від змін зазору. Завдяки малим розмірам, високій роздільній здатності і чутливості до дефектів з різною глибиною залягання запропонований вихрострумний перетворювач може бути використаний у складі обертальних зондів для контролю труб теплообмінників, а також для побудови багатоелементних систем контролю. Бібліогр. 9, рис. 4.

Ключові слова: накладний вихрострумний перетворювач подвійного диференціювання, селективний контроль, трубки теплообмінників

На практиці часто виникає проблема виявлення поверхневих і підповерхневих дефектів в тонкостінних виробках, які зароджуються і розвиваються з різних поверхонь об'єкта контролю. При цьому необхідно проводити ідентифікацію дефектів, зокрема визначати їх глибину або глибину залягання для внутрішніх дефектів з метою визначення залишкової товщини, необхідної для оцінки роботоздатності конструкцій з позицій механіки руйнування. Для вирішення цієї задачі найперспективнішим є вихрострумний метод із застосуванням відносно низьких робочих частот, який дозволяє забезпечити високу чутливість і роздільну здатність. Подібна задача виникає, зокрема, під час контролю труб теплообмінників із аустенітних сталей з метою виявлення експлуатаційних дефектів різного типу [1]. Для такого контролю широко використовується вихрострумний метод, який забезпечує можливість визначення товщини виробів і має високу чутливість до дефектів різного походження [2–4]. Зазвичай вихрострумний контроль (ВК) трубок теплообмінників в умовах експлуатації проводять внутрішніми зондами через відсутність доступу до зовнішньої поверхні трубок. Для ВК трубок використовують різні варіанти вихрострумного методу, які можна умовно поділити на три основні групи, що побудовані на використанні: прохідного вихрострумного перетворювача (ВСП) з коаксіальним розташуванням обмоток [4, 5]; накладного ВСП, що обертається за спіральною траєкторією з внутрішньої сторони трубки; внутрішніх багатоелементних накладних ВСП. Кожний з

цих варіантів має свої недоліки і переваги, які проаналізовано в роботі [4]. Зазначимо тільки, що контроль за допомогою внутрішніх накладних ВСП має переваги по чутливості до дефектів різного напрямку і просторовій роздільній здатності.

Накладні ВСП для виявлення дефектів з середини труб теплообмінників парогенераторів типу ПГВ-1000, які використані в реакторах типу ВВЕР-1000, повинні забезпечувати чутливість до поверхневих і підповерхневих дефектів в трубках товщиною 1,5 мм і мати мінімально можливі габарити для розміщення всередині труб із внутрішнім діаметром 13 мм.

Метою цієї роботи є дослідження нового мініатюрного накладного ВСП високої роздільної здатності, на основі якого можуть бути створені технології контролю тонкостінних оболонок, зокрема труб теплообмінників із аустенітних сталей.

Методика експерименту. Для вибору перспективного ВСП і проведення дослідження виготовили шаруватий зразок із аустенітної сталі загальною товщиною 1,5 мм у вигляді набору п'яти пластин товщиною 0,3 мм кожна (рис. 1). Дефект типу тріщина імітували стиком двох пластин, що дозволило створювати тріщину глибиною 0,3 мм. Для дослідження впливу місцеположення дефекту, зокрема глибини його залягання, на сигнал ВСП пластину з дефектом розміщували у різних шарах зразка. Пластини затискали по всьому периметру у спеціальному пристрої з метою усунення можливих зазорів між пластинами. При цьому забезпечували доступ до поверхні зразка в центральній зоні для встановлення і переміщення ВСП через зону дефекту.

Вибір типу ВСП і оптимальної робочої частоти проводили на зразку, що імітував найскладні-

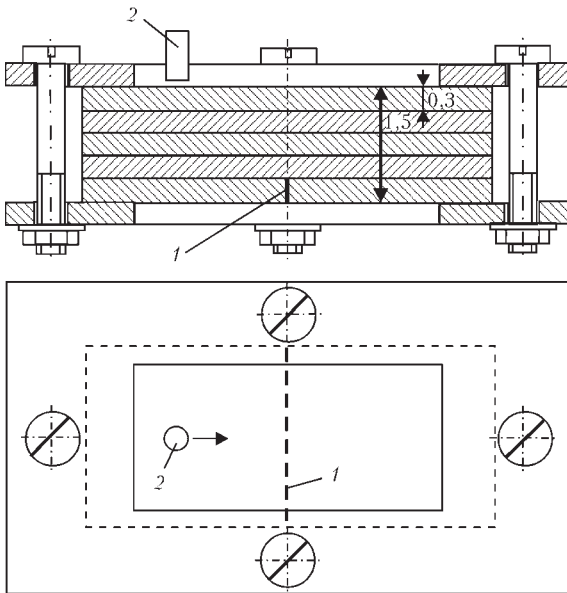


Рис. 1. Шаруватий зразок для дослідження накладних ВСП для дефектоскопії тонкостінних конструкцій: 1 – дефект; 2 – ВСП

ший випадок виявлення дефекту з максимальною глибиною залягання 1,2 мм. Досліджували сигнали мініатюрних ВСП різного типу, зокрема, абсолютного екранованого ВСП з рознесеними обмотками, ВСП подвійного диференціювання і ВСП з ортогональними обмоткою збудження і вимірною обмоткою [6, 7]. Найкращу чутливість до вказаного вище дефекту показав мініатюрний варіант ВСП подвійного диференціювання [7], який має достатньо високу чутливість і роздільну здатність в поєднанні з малими габаритами.

Під час створення мініатюрного ВСП для всіх обмоток використані феритові осердя діаметром 0,75 мм з початковою магнітною проникністю матеріалу осердя 2300. Збуджувальна і вимірвальна обмотки намотані проводом діаметром 0,06 мм у два шари (20 і 15 витків – збуджувальна обмотка, 25 і 23 витки – вимірвальна обмотка). Діаметр ВСП складає 2,8...3,0 мм, що дозволяє за необхідності монтувати його на роторі обертальних зондів. Сигнали ВСП досліджували за допомогою вихрострумової плати EDDYMAX німецької фірми «ТЕСТ МАШИНЕН ТЕКНИК» (Швармштедт, Німеччина).

Для вибору оптимальної робочої частоти сигнали ВСП досліджували на різних робочих частотах у діапазоні від 50 до 500 кГц на дефекті з максимальною глибиною залягання 1,2 мм. Із побудованої залежності амплітуди сигналу від робочої частоти (рис. 2) видно, що найкращу чутливість ВСП має на робочій частоті 200 кГц, яку використовували під час досліджень.

Результати і їх обговорення. На рис. 3 представлені сигнали накладного ВСП

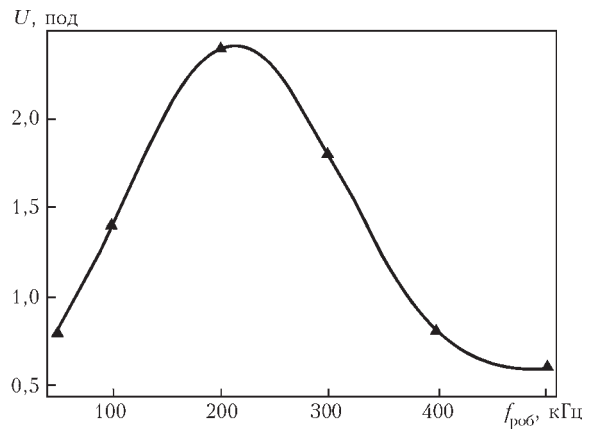


Рис. 2. Амплітудно-частотна залежність сигналу від дефекту (позначено Д) з максимальною глибиною залягання 1,2 мм. При цьому подано сигнали в комплексній площині (рис. 3, а), а також вертикальну (рис. 3, б) і горизонтальну (рис. 3, в) складові сигналу при скануванні через зону дефекту. Одночасно на дефектограмах представлено сигнали (позначено З) від збільшення зазору між ВСП і контрольованою поверхнею. Видно, що ВСП на вибраній робочій частоті 200 кГц забезпечує виявлення дефекту типу тріщини на зворотній стороні (глибина залягання 1,2 мм) пластини із аустенітної сталі товщиною 1,5 мм. При цьому сигнал від дефекту має характерний для ВСП подвійного диференціювання «квазіабсолютний» вигляд. Відомо, що для дефекту локального типу ВСП подвійного диференціювання має чотири окремі зони чутливості [7]. Для досліджуваного ВСП ці зони чутливості є достатньо локальними (біля 0,5 мм), оскільки усі вони загалом не виходять за межі зони діаметром 2,0 мм, що визначає його високу роздільну здатність. Сигнал від дефекту має властивий для цих ВСП «гострий» характер, що вказує на можливість виділення його на фоні «повільних» завод, пов'язаних з неоднорідністю питомої електропровідності і геометрії об'єкта контролю. Сигнал від зазору отримали шляхом значного (більш ніж на 50 мм) віддалення ВСП від контрольованої поверхні. Тим не менше, сигнал від зазору є меншим від сигналу від дефекту, що має максимальну

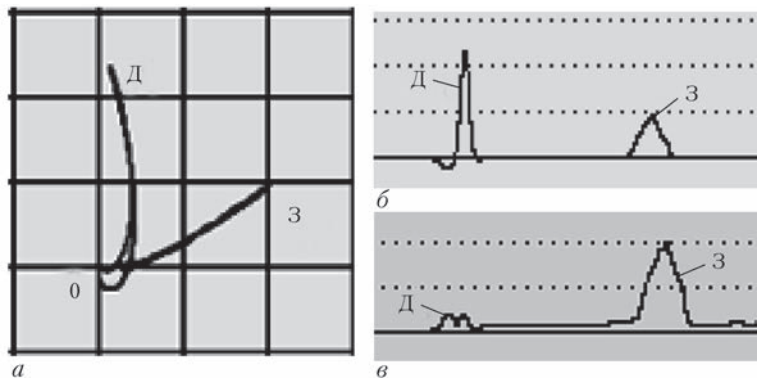


Рис. 3. Сигнали від дефекту (Д) з глибиною залягання $h_3 = 1,2$ мм і сигнали від зазору (З) у комплексній площині (а) і з часовою розгорткою вертикальної (б) і горизонтальної (в) складових

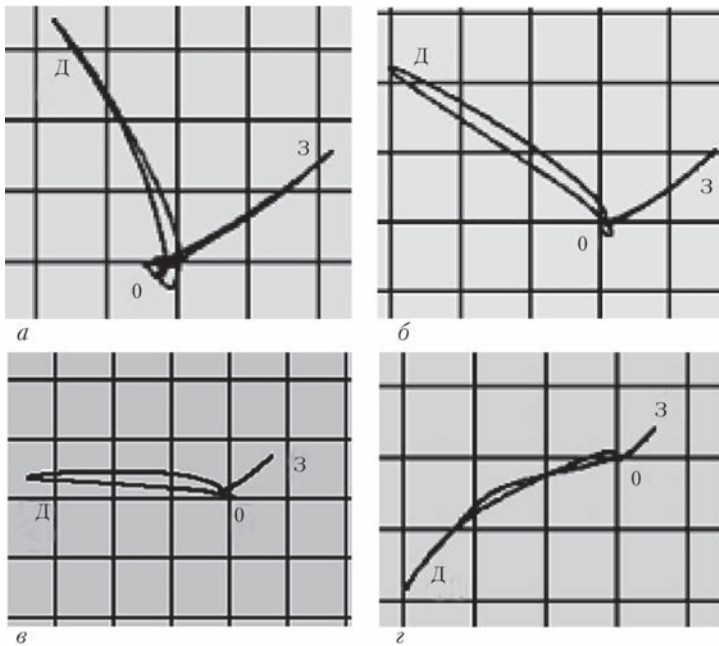


Рис. 4. Сигнали від дефектів із глибиною залягання $h_3 = 0,9$ мм (а); $0,6$ (б); $0,3$ (в) і 0 (з)

глибину залягання (1,2 мм). До того ж напрямки годографів від дефекту (Д) і впливу зазору (З) відрізняються на кут, близький до 60° , що дає можливість розділення сигналів від дефектів і сигналів від зміни зазору під час сканування на основі фазової селекції.

На рис. 4 представлено годографи сигналів від дефектів з різною глибиною залягання в діапазоні від $h_3 = 0,9$ мм до $h_3 = 0$ (поверхневий дефект). При цьому чутливість апаратури на рис. 3 ($h_3 = 1,2$ мм) і рис. 4 а ($h_3 = 0,9$ мм) однакова. При подальшому зменшенні глибини залягання (рис. 4, б–з) чутливість кожного разу зменшувалась на 6 дБ, що відображується у поступовому зменшенні сигналу від зазору (З). Із годографів на рис. 4 видно, що фазовий кут сигналу від дефекту залежить від глибини залягання дефекту, що дозволяє, зокрема, ідентифікувати дефекти, що утворюються на різних поверхнях. Годографи від поверхневих дефектів мають бути орієнтовані подібно до сигналів на рис. 4, з. При цьому годографи сигналу від поверхневого дефекту і сигналу від змін зазору є протилежними за напрямком.

Висновки

Представлено новий мініатюрний накладний ВСП подвійного диференціювання високої роздільної здатності діаметром 3 мм для дефектоскопії тонкостінних оболонок.

Surface double differential type eddy current probe characterized with high spatial resolution and small size (3 mm) is presented. High sensitivity to surface and subsurface defects in inspected object is shown. The possibility for selective detection of defect with known depth of bedding and possibility to suppress lift-off signal also is shown. Due small size and high performance characteristics, such as spatial resolution and sensitivity to defects with different depth of bedding, proposed eddy current probe can applied for inspection of heat exchanger tubes in rotational mode and for array inspection system creation.

Key words: double differential type eddy current probe, selective inspection, heat exchanger tubes

Визначено оптимальну робочу частоту запропонованого ВСП під час дефектоскопії тонкостінних (товщиною 1,5 мм) виробів із аустенітних сталей.

Проведено дослідження запропонованого ВСП, які показали високу чутливість до поверхневих і підповерхневих дефектів по всій товщині об'єкта контролю.

Показано можливість селективного виявлення дефектів заданої глибини залягання, а також можливість відстроюватись від впливу змін зазору.

На основі визначення фази сигналу від дефекту (або напрямку годографу в комплексній площині) може бути реалізована ідентифікація дефектів за глибиною їх залягання, що дозволяє визначати залишкову товщину об'єкта контролю в дефектних зонах.

Завдяки малим розмірам, високій роздільній здатності і чутливості до дефектів різної глибини залягання запропонований ВСП може бути використаний зокрема в складі обертальних зондів для контролю труб теплообмінників [8]. Також такі ВСП можуть бути використані для побудови багатоелементних систем контролю [7].

1. Митрофанов А. С., Неклюдов І. М., Ожигов Л. С. Експлуатаційні дефекти в теплообмінних трубах парогенераторів АС // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2008. – № 4. – С. 109–113.
2. IAEA-TECDOC-981. Assessment and management of ageing of major nuclear power plant components important to safety: Steam generators. – Vienna: Intern. atomic energy agency, 1997. – 173 p.
3. IAEA-EBP-WWER-II. Methodology for qualification of in-service inspection systems for WWER nuclear power plants. – Vienna: Intern. atomic energy agency, 1998. – 21 p.
4. Uchanin V., Najda V. The development of eddy current technique for WWER steam generators inspection // Steam Generators Systems: Operational Reliability and Efficiency / Ed. by V. Uchanin. – Rijeka, Croatia: INTECH. – 2011. – P. 145–164.
5. Учанін В. М. Аналіз сигналів внутрішнього коаксіального вихрострумного перетворювача для дефектоскопії труб парогенераторів // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2009. – № 3. – С. 112–116.
6. Учанін В. Н. Вихретоковые накладные преобразователи: расширенная классификация, сравнительный анализ и характерные примеры реализации // Техн. диагностика и неразруш. контроль (Обзор). – 2010. – № 4. – С. 24–29.
7. Учанін В. М. Накладні вихрострумного перетворювачі подвійного диференціювання. – Львів: СПОЛЮМ, 2013. – 208 с.
8. Пат. 100441 України, МПК G01N27/90. Внутрішній обертальний зонд для контролю труб / В.М. Учанін, Г.О. Шаповалов. – № а 2011 03297; Заявл. 21.03.2011; Опубл. 25.12.2012, Бюл. № 24.

Надійшла до редакції
18.07.2015