

## РОЗВИТОК АКУСТИЧНОГО ВИДУ КОНТРОЛЮ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ СТРУКТУРНИХ ЗМІН СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

*Н.І. Чабан, І.В. Рибіцький, В.Д. Миндюк*

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 506611,  
e-mail: chaban.n11@gmail.com*

*Виявлення дефектів на стадії їх зародження, тобто на стадії структурних змін матеріалу металоконструкцій, є актуальною проблемою. Розглянуто основні методи визначення структурних змін матеріалу металоконструкцій, проаналізовано їх переваги і недоліки, запропоновано новий метод визначення структурних змін за допомогою сучасних методів неруйнівного контролю, а саме ультразвукових фазованих ґраток.*

Ключові слова: акустичні структурні шуми, структуроскопія, залишковий ресурс.

*Выявление дефектов на стадии их зарождения, то есть на стадии структурных изменений материала металлоконструкций является актуальной проблемой. Рассмотрены основные методы определения структурных изменений материала металлоконструкций, проанализированы их преимущества и недостатки, предложен новый метод определения структурных изменений с помощью современных методов неразрушающего контроля, а именно ультразвуковых фазированных решеток.*

Ключевые слова: акустические структурные шуми, структуроскопии, остаточный ресурс.

*Detection of defects at the stage of their origination, specifically at the stage of structural changes in the metal structures material, is the current issue. The main methods for determining the structural changes in the material of metal structures are considered, their advantages and disadvantages are analyzed, a new method for determining the structural changes using modern methods of non-destructive testing, namely ultrasonic phased arrays is proposed.*

Key words: acoustic structural noise, structuroscopy, residual resource.

### Вступ

Більшість обладнання нафтогазового комплексу під час експлуатації зазнає впливу циклічно-змінних, механічних, теплових навантажень та дії корозійно-активних середовищ. Ці впливи призводять до зміни напружено-деформованого стану металу, які у поєднанні з надлишковим внутрішнім тиском середовища можуть сприяти прискореному розвитку дефектів, особливо в місцях з концентраторами напружень, та призводити до руйнування конструкції.

Існуючі на даний час ультразвукові, електромагнітні та вихрострумові методи неруйнівного контролю спрямовані здебільшого на виявлення дефектів, що вже утворилися. Однак важливіше вчасно виявити початковий етап процесу накопичення пошкодженості в металі шляхом визначення змін структурного стану металу щоб уникнути небажаних наслідків [1-5].

В даній статті проаналізовано особливості застосування ультразвукового методу з використанням фазованих ґраток для оцінювання змін мікроструктури сталевих сплавів.

### Висвітлення невіршених раніше частин загальної проблеми, якій присвячується стаття

На даному етапі розвитку неруйнівних методів оцінювання стану мікроструктури матеріалів існує ряд обмежень щодо їх застосування, які обумовлені недостатньою чутливістю та впливом інших чинників на результати контро-

лю. Авторами представлено результати застосування методу ультразвукових фазованих ґраток (УЗФГ) для виявлення структурних змін матеріалу металоконструкцій.

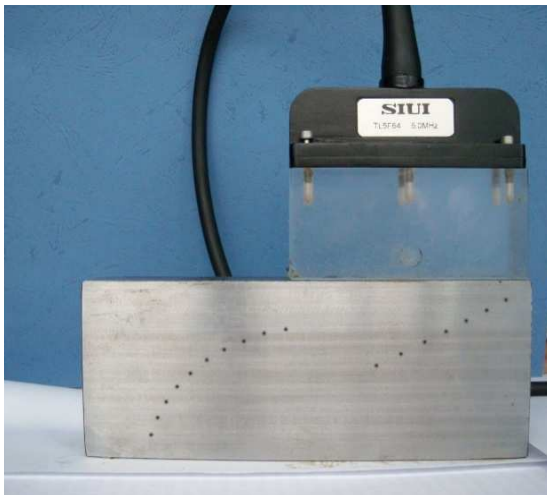
### Формулювання цілей статті

Метою даної статті є висвітлення особливостей застосування сучасних ультразвукових неруйнівних методів виявлення структурних змін матеріалу металоконструкцій довготривалої експлуатації.

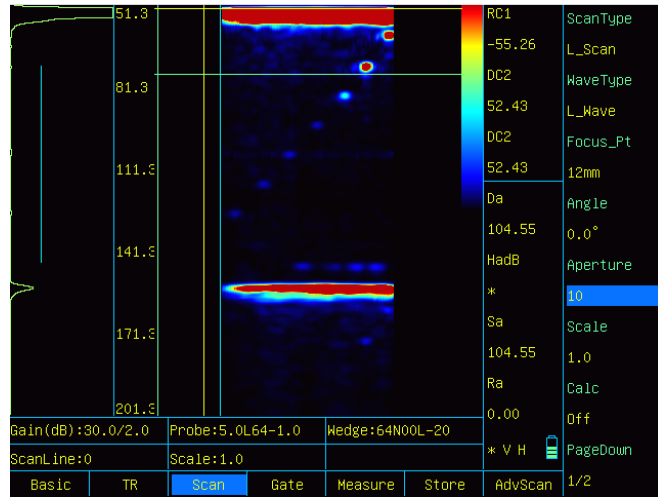
### Висвітлення основного матеріалу

Більшість об'єктів неруйнівного контролю в нафтогазовій галузі – полікристалічні тверді тіла, кожне зерно яких є монокристалом (кристаліт) з пружною анізотропією, яка викликає розсіювання акустичних хвиль в полікристалічному твердому тілі внаслідок відбиття, заломлення і трансформації акустичних хвиль на межах зерен. Під час виготовлення цих об'єктів (лиття, обробка тиском, термічна обробка та ін.) і в процесі життєвого циклу структура металу може істотно змінюватися через появу неоднорідностей, анізотропії, пошкодження структури [6-8]. Останні можуть слугувати індикатором незворотних змін, накопичених в матеріалі. Тому визначення фактичного структурного стану матеріалу виробів є одним з актуальних напрямків структуроскопії в неруйнівному контролі.

Більшість акустичних методів оцінки структурного стану металу засновані на вимірю-



а)



б)

**Рисунок 1 – Зразок для налаштування ультразвукового дефектоскопа (а) і відображення структурних шумів та імітаторів дефектів типу тріщини на екрані дефектоскопа з УЗФГ (б)**

ванні швидкості поширення ультразвукових (УЗ) коливань.

Швидкість поширення ультразвукових хвиль у металах функціонально пов'язана з їх модулями пружності, які, в свою чергу, визначаються силою взаємодії між сусідніми атомами в кристалічній ґратки. При зміні будови кристалічної ґратки, наприклад внаслідок пластичної деформації, змінюються сили взаємодії між атомами, відповідно змінюються і модулі пружності, що призводить до зміни швидкості поширення ультразвуку у металах.

Однак УЗ методи потребують високочутливих приладів фіксування сигналів (з точністю 0,05%), оскільки зміна швидкості поширення ультразвуку в металах через зміну структури чи режимів термічної обробки не перевищує 3%. [9].

Акустичні методи, які базуються на явищах затухання ультразвукових (УЗ) хвиль [10-11], характеризуються великою похибкою вимірювань (до 10%) та високою трудоемкістю процесу вимірювання.

Останнім часом для вирішення задач структуроскопії застосовують електромагнітний метод збудження і реєстрації ультразвукових хвиль [12-13], перевагою якого є безконтактність [14]. До недоліків даного методу можна віднести великі габаритні розміри електромагнітних-акустичних перетворювачів (ЕМА), які забезпечують сильне підмагнічування зразків та малу чутливість контролю (в порівнянні з п'єзоелектричними перетворювачами).

Саме низька чутливість обмежує застосування всіх згаданих методів, тому актуальною проблемою залишається пошук нових і модернізація існуючих методів структуроскопії матеріалів.

Авторам статті запропоновано використання сучасних неруйнівних методів для виявлення структурних змін матеріалу, зокрема ультразвукових дефектоскопів, у комплектованих з п'єзоелектричними перетворювачами з ультразвуковими фазованими ґратками (УЗФГ).

Процес формування акустичного зображення внутрішньої структури металу та можливих дефектів розглянемо на прикладі зразка для налаштування дефектоскопа (рис.1) [15-17].

Для отримання зображення перерізу візуалізованої області об'єкта весь набір прийнятих УЗ сигналів, відбитих від кожної точки дефекту, піддають когерентній просторово-часовій обробці, що є результатом сумування відгуків (луно-сигналів, отриманих при різних ракурсах) від деякої точки простору всередині візуалізованої області і присвоєння результату сумування певного градієнта певному кольору. Цю операцію виконують для всіх точок простору, що знаходяться в площині візуалізованого перерізу.

У результаті контролю з використанням п'єзоелектричних перетворювачів з УЗФГ з електронним скануванням формується секторна розгортка області сканування, на якій амплітуда луно-сигналу від відбивача кодується кольором. Перехід кольору від темно-синього до червоного відповідає збільшенню амплітуди луно-імпульсу відбитого сигналу. Так, в результаті заломлення та трансформації ультразвукових сигналів від груп зерен амплітуда луно-імпульсу відбитого сигналу збільшується, внаслідок чого структурні неоднорідності на екрані дефектоскопа відобразатимуться вигляді світло-синіх плям. У місцях, де значення луно-імпульсів є максимальним, утворюються плями червоного кольору, які відображають наявність дефекту.

Відображення результатів прозвучування у вигляді двовимірного кольорового зображення внутрішньої структури об'єкта значно полегшує їх опрацювання, оскільки фахівець з неруйнівного контролю може оперативно локалізувати ділянку об'єкта дослідження з найбільшою кількістю структурних неоднорідностей.

Зразок з сталі марки 40Г розміром 400x300x18,7 мм. було розділено на 200 зон, щоб спростити пошук ідентифікації місця отриманих зображень. (рис. 2) Ультразвукові

дослідження проводили дефектоскопом SIUI CTS-602 з перетворювачем 5.0L-64-1.0-10 та перехідною призмою 64N00L-40. Сканування проводили імпульсами, частотою 5МГц, кут сканування становив 0°, активна апертура – 14, підсилення – 30 дБ.

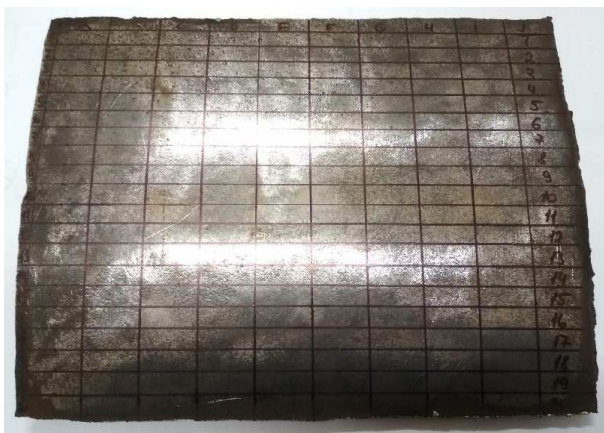


Рисунок 2 – Зображення досліджуваного зразка сталі 40 Г

В результаті відображення, заломлення і трансформації пройдених акустичних хвиль на межах зерен структурні неоднорідності на екрані відобразились у вигляді світліших і темніших зон. На рисунку 3 структурні неоднорідності виділені кривою білого кольору.

Апаратні можливості дефектоскопа дають можливість зберегти акустичне зображення для подальшого опрацювання. За допомогою програми-аналізатора зображені отримані зображення переводяться в монохромний режим, складаються в логічний ряд, відфільтровуються зображення шумів, утворені призмою (рис. 4).

Метою подальших досліджень є встановлення інформативних параметрів, які якісно і кількісно описують зони неоднорідностей отриманих акустичних шумових зображень та визначення кореляційних зв'язків між цими інформативними параметрами та механічними характеристиками досліджуваних матеріалів, зокрема границі міцності матеріалу.

Результати досліджень в подальшому будуть спрямовані на розроблення методики визначення залишкового ресурсу обладнання за дійсними значеннями границі міцності матеріалу, що визначатимуться комплексом методів неруйнівного контролю.

### Висновки

Представлений новий метод оцінки структурних змін металу, заснований на використанні дефектоскопу з УЗФР. Актуальним залишається розроблення технології оброблення отриманих зображень з метою отримання інформативних параметрів акустичного контролю та їх застосування для оцінювання параметрів струк-

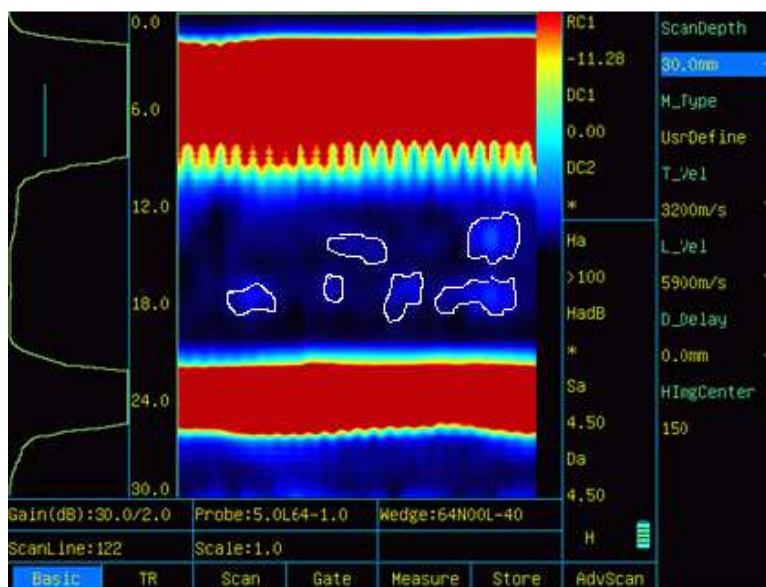


Рисунок 3 – Акустичне зображення ділянки досліджуваного зразка з структурними неоднорідностями, отримане на екрані дефектоскопа за допомогою УЗФР

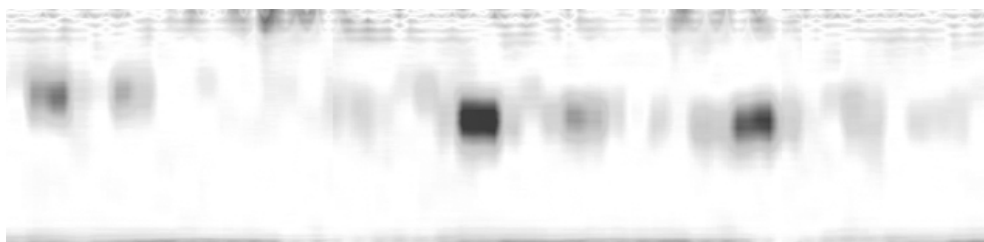


Рисунок 4 – Акустичне зображення структурних неоднорідностей фрагмента досліджуваного зразка після опрацювання програмою-аналізатором

турних неоднорідностей та їх зв'язку з механічними характеристиками досліджуваного матеріалу. За відомих значень дійсних механічних характеристик набуває розвитку метод розрахунку залишкового ресурсу обладнання довготривалої експлуатації за існуючими методиками.

### **Література**

1 Смирнов А.Н. Структурно-фазовое состояние и ресурс длительно работающего металла технических устройств опасных производственных объектов, перспективы дальнейшего развития методов оценки работоспособности / Смирнов А.Н. // Контроль. Диагностика. – 2009. – № 1. – С. 22-32.

2 Буденков Г.А. Исследование напряженно-деформированного состояния ободьев цельно-катаных вагонных колес методом акустической тензометрии / Буденков Г.А. // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – Том 6. – № 3. – С. 111-117.

3 Муравьев В.В. К расчету параметров системы намагничивания электромагнитно-акустического преобразователя / Муравьев В.В. // Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1. – С. 197-205.

4 Муравьев В.В. Оценка остаточных напряжений в ободьях вагонных колес электромагнитно-акустическим методом / Муравьев В.В. // Дефектоскопия. – 2011. – № 8. – С.16-28.

5 Муравьев В.В. Распределение остаточных напряжений при электроконтактном упрочнении бандажей локомотивных колес / Муравьев В.В. // Технология машиностроения. – 2011. – № 9. – С. 42-45.

6 Муравьев В. В. Связь скорости ультразвука с ударной вязкостью и технология контроля качества конструкционных сталей / Муравьев В. В., Сухарев Е. М., Ермолаева З. И. // Контроль. Диагностика. – 2002. – № 7. – С. 49-55.

7 Муравьев В. В. Взаимосвязь структуры и твердости сталей со скоростью объемных и поверхностных акустических волн / Муравьев В. В. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1991. – № 10. – С. 100-102.

8 Муравьев В. В. Взаимосвязь структуры и механических свойств инструментальной углеродистой стали со скоростью распространения ультразвуковых колебаний / Муравьев В. В., Зув Л. Б., Билута А. П. // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. – 1992. – № 2. – С. 69-71.

9 Муравьев В.В. Скорость звука и структура сталей и сплавов / Муравьев В.В., Зув Л. Б., Комаров К.Л. – Новосибирск: Наука, 1996. – 181 с.

10 Буденков Г. А. Оценка напряженного состояния изделий из серого чугуна акустическим методом / Буденков Г. А. // Дефектоскопия. – 1998. – № 7. – С. 3-7.

11 Буденков Г. А. Исследование напряженно-деформированного состояния ободьев цельнокатаных вагонных колес методом акустической тензометрии / Буденков Г. А., Муравьев В. В.,

Коробейникова О. В. // Фундамент. проблемы современного материаловедения. – 2009. – Т. 6. – № 3. – С. 111-117.

12 Муравьев В. В. К расчету параметров системы намагничивания электромагнитно-акустического преобразователя / Муравьев В. В., Стрижак В. А., Балобанов Е. Н. // Интеллектуал. системы в пр-ве. – 2011. – № 1. – С. 197-205.

13 Патент РФ РЕ № 2217741 С2 Многоканальная акустико-эмиссионная система диагностики конструкций / Л. Н. Степанова, А. Н. Серьезнов, М. Круглов, В. В. Муравьев: Бюл. № 33. 27.11.2003. – Москва, ФИПС. – 18 с.

14 Ермолаева З. И. Влияние некоторых структурных параметров на скорость ультразвука в сталях / Ермолаева З. И. // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1999. – № 8. – С. 29-31.

15 Попович О.В. Удосконалення акустичних методів визначення типів та розмірів дефектів металоконструкцій: дисертація кандидата технічних наук: 03.11.16 / Попович Ольга Василівна. – Івано-Франківськ, 2008. – 128 с.

16 Junshan Gao, Ke Wang. Study on the technology of ultrasonic imaging detection based on phased array / International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition. 2013. Vol. 8, No.5. P.71-78

17 Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications: R/D Tech Guideline. – Quebec: R/D Tech inc., 2004. – 368 p.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
20.09.18*

*Рекомендована до друку  
професором Райтером П.М.  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
д-ром техн. наук Банашевичем Ю.В.  
(ЛЧМГ ПАТ «Укртрансгаз», м. Львів)*