

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНФОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАЛЕЙ

Н.І. Чабан

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

Дослідження нових методів та технологій неруйнівного контролю зміни металоконструкцій довготривалої експлуатації є актуальною задачею сьогодення. В даній роботі розглядається методологія та результати експериментальних досліджень, метою яких є визначення взаємозв'язків між інтенсивністю визначених за допомогою ультразвукових дефектоскопів з фазованими ґратками структурних шумів у матеріалі металоконструкцій та фізико-механічними властивостями сталей.

Ключові слова: неруйнівний контроль, акустичні структурні шуми, структуроскопія, постановка експерименту.

Исследование новых методов и технологий неразрушающего контроля изменения металлоконструкций длительной эксплуатации является актуальной задачей современности. В данной работе представлена методология и результаты экспериментальных исследований, целью которых является определение взаимосвязей между интенсивностью структурных шумов в материале металлоконструкций, которые определены с помощью ультразвуковых дефектоскопов с фазированной решеткой и физико-механическими свойствами сталей.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, акустические структурные шумы, структуроскопии, постановка эксперимента.

Research of new methods and technologies of non-destructive control of change of long-term metal structures is an actual task of the present. In this article the methodology and results of experimental studies, the main aim of which is to determine the correlation between the intensity of structural noise in the material determined by failure detectors based on ultrasonic field-induced phase grating and the physical and mechanical properties of steels are presented.

Key words: non-destructive control, acoustic structural noise, structuroscopy, staging of the experiment.

В реальних умовах експлуатації більшість металоконструкцій піддаються впливу значних навантажень, що мають різний характер. Вони постійно перебувають у напружено-деформованому стані, що в подальшому може призвести до утворення дефектів, які з достатньою точністю можна виявляти методами неруйнівного контролю [1]. Однією з основних причин дефектоутворення є зміна фізичних та механічних характеристик та структури матеріалу конструкцій, контроль яких потребує значних матеріальних затрат, пов'язаних з особливостями експлуатації та необхідністю зупинки обладнання [2].

Отже, розроблення способів визначення передумов виникнення дефектів, таких як зміна структури матеріалу, є важливим і актуальним.

Формулювання цілей статті

Метою статті є розроблення методології та проведення експериментальних досліджень щодо визначення залежності параметрів зображень акустичних структурних шумів сталей від їх фізико-механічних характеристик. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

Розробити методологію проведення досліджень для визначення структурних змін сталі,

що виникли в процесі експлуатації, та їх впливу на механічні характеристики.

Провести експериментальні дослідження залежності параметрів зображень акустичних структурних шумів сталей від їх фізико-механічних характеристик.

Висвітлення основного матеріалу

Проведені раніше дослідження [3] довели можливість оцінки зміни фізико-механічних властивостей сталей за допомогою ультразвукових дефектоскопів у комплекті з п'єзоелектричними перетворювачами з ультразвуковими фазованими ґратками (УЗФГ).

Тому для дослідження структурних змін сталі, що виникли в процесі експлуатації, та їх впливу на механічні характеристики запропонована наступна методологія:

- розроблення плану проведення експерименту;
- вибір матеріалу металоконструкцій та обґрунтування розмірів і кількості зразків;
- виготовлення зразків;
- підбір типу ультразвукового дефектоскопа та п'єзоелектричних перетворювачів;
- аналіз та опрацювання результатів досліджень;
- формування висновків та плану подальших досліджень.

Для проведення експериментальних досліджень був відібраний прямокутний зразок конструкційної легованої сталі марки 40Г, розміром 400x300 мм та товщиною 18,7 мм. Сталь 40Г використовують для виготовлення обладнання підвищеної міцності (трубопроводи, насосно-компресорні труби тощо).

Експериментальний зразок очищено від корозії та умовно поділено на зони (рис. 1). Розмір зон визначався з розрахунку не більше половини кожного з геометричних розмірів п'єзоперетворювача з ультразвуковими фазованими ґратками (довжини та ширини призми), що дозволяє визначити потенційні дефекти розміром половини значення геометричних розмірів призми. Довжина і ширина призми УЗФГ перетворювача, яка також виконує функцію акустичної затримки, становлять 84x35 мм відповідно, тому для зручності розрахований розмір кожної комірки становить 40x15 мм. Також ця конфігурація поділу зразка на зони забезпечує перекриття ділянок сканування, що суттєво підвищує точність і достовірність результатів, а також дозволить в подальшому виготовити стандартні зразки для проведення руйнівних випробувань на розтяг згідно з ГОСТ 1497-84 [4] з можливістю точного визначення місцезнаходження ділянок з структурними неоднорідностями. Таким чином, досліджуваний зразок поділено на 200 зон для полегшення ідентифікації місця отриманих зображень акустичних структурних шумів (рис. 1).

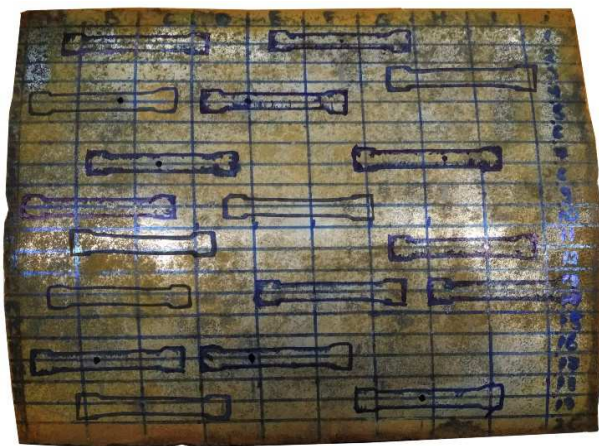


Рисунок 1 – Загальний вигляд досліджуваного зразка зі Сталі 40 Г з місцями для вирізання стандартних зразків для проведення випробувань на розтяг

Основними вхідними параметрами при виборі ультразвукового дефектоскопа та п'єзоелектричного перетворювача були: характеристики досліджуваної сталі, зокрема середній розмір зерна, величина затухання ультразвукових коливань та габаритні розміри (товщина) зразка; можливість отримання та збереження акустичного зображення в цифровій формі для полегшення подальших досліджень; роздільна здатність та чутливість ультразвукового перетворювача. З огляду на вищесказане, для проведення ультразвукових досліджень ви-

брано дефектоскоп SIUI CTS-602 з перетворювачем 5.0L-64-1.0-10 та перехідною призмою 64N00L-40. Основні параметри налаштування дефектоскопа наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Параметри налаштування дефектоскопа SIUI CTS-602

Параметр	Значення
Частота ультразвукових коливань, МГц	5
Кут введення променів, град	0
Апертура	14
Підсилення, дБ	30

Фізична суть процесу формування зображення структурних неоднорідностей полягає в тому, що в результаті відображення, заломлення і трансформації пройдених та відбитих акустичних хвиль на межах зерен чи груп неоднорідностей з відмінними значеннями акустичних параметрів (акустичний опір), структурні неоднорідності на екрані дефектоскопа відображаються у вигляді світліших і темніших зон. Яскравість та інтенсивність кольору цих зон змінюється від чорного до яскраво-червоного і пропорційна амплітуді відбитих акустичних коливань. На рисунку 2 структурні неоднорідності оконтурені додатково білою кривою [3].

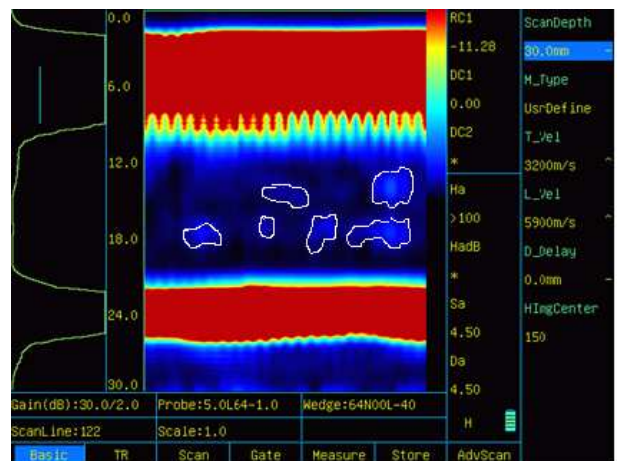


Рисунок 2 – Акустичне зображення ділянки досліджуваного зразка з структурними неоднорідностями, отримане на екрані дефектоскопа за допомогою УЗФГ

Даний зразок піддавався 100% УЗ скануванню з метою визначення ділянок з найбільш вираженими структурними змінами. З металу, що розміщений в цих ділянках, виготовлено 18 стандартних зразків для розтягу (рис. 3) відповідно до ГОСТ 1497-84 «Метали. Методи випробувань на розтяг» (рис. 4). Три зразки з 18-ти виготовлені з ділянок, на яких виявлено найменші значення акустичних шумів. Основні геометричні розміри виготовлених зразків наведені в табл. 2.

Виготовлення циліндричних зразків для розтягу проводилося в 2 етапи:



Рисунок 3 – Виготовлені зразки для руйнівних статичних випробувань на розтяг

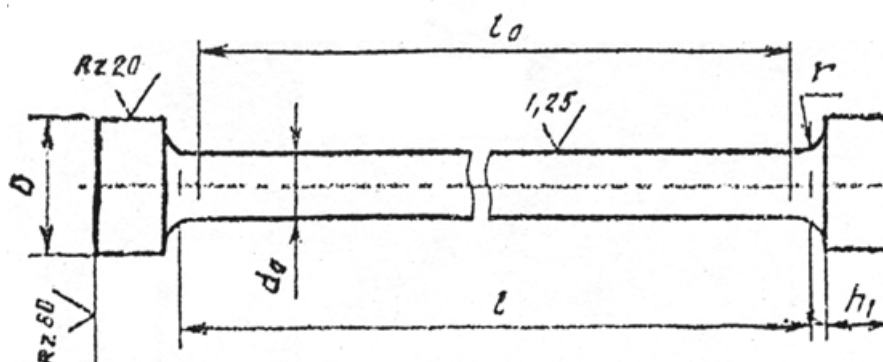


Рисунок 4 – Схематичне зображення типового зразка для розтягу згідно з ГОСТ 1497-84 «Метали. Методи випробувань на розтяг»

Таблиця 2 – Геометричні розміри виготовлених зразків для руйнівних статичних випробувань на розтяг

d_0 , мм	D , мм	I_0 , мм	I , мм	h_1 , мм	r , мм	Загальна довжина, мм	Кількість
10.0 ± 0.1	14	50	70	12	3	100	18

- вирізання прямокутних заготовок з відібраного прямокутного зразка конструкційної легованої сталі марки 40Г (рис. 1);

- виготовлення циліндричних зразків із прямокутних заготовок.

Вирізання прямокутних заготовок, з яких в подальшому виготовлятимуться стандартні циліндричні зразки, проводилось на фрезерувальному верстаті ФУ-251 при швидкості обертання фрези 80 об/хв і швидкості горизонтальної подачі фрези 2 см/хв з примусовим охолодженням зони різання. Отримані заготовки піддавались повторному детальному обстеженню ультразвуковими методом для підтвердження місця знаходження ділянок зі структурними неоднорідностями. Акустичні зображення дефектних ділянок збережено.

Токарні роботи для виготовлення стандартних циліндричних зразків проводились на верстаті 1К62 при кутовій швидкості обертання 600 об/хв і примусовому охолодженні зони контактування заготовки з різцем. Зразки примусово охолоджували, щоб уникнути структурних змін матеріалу під дією термічного впливу.

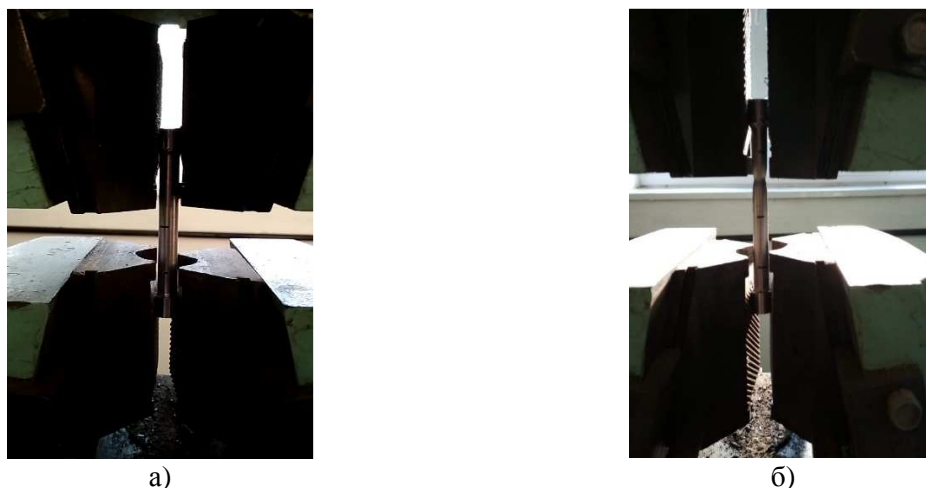
Експериментальні дослідження з руйнівного статичного випробування на розтяг зразків проводились на базі лабораторії випробувально-діагностичного центру ТОВ «НВФ «Зонд». Обладнанням для розриву слугувала машина

УММ-20, зав № 742, свідоцтво калібрування № 07-1662/18 (чинне до 27.08.2019 р.) (рис. 5) Розтяг зразків відбувався за температури навколишнього середовища 20 °С.

За результатами випробувань отримано індивідуальні діаграми розтягу для кожного зразка [4]. За допомогою графо-аналітичного та розрахункового способів згідно з ГОСТ 1497-84 визначено границі міцності, границі плинності, показники відносного видовження і звуження.

Результати випробувань на розтяг наведені в таблиці 3.

Наступним етапом експериментальних досліджень є аналіз кількісних показників отриманих акустичних зображень структурних шумів сталей з метою вибору оптимального. На початковому етапі запропоновано як кількісний показник використовувати фактичну площу зображень неоднорідностей. Для цього всі зображення опрацьовувалися в програмному середовищі ImageJ [5, 6]. Особливістю роботи в даному середовищі є встановлення рівня чутливості вимірювання. Тобто оператор повинен задати границі зони неоднорідності, а оскільки різниця між відтінками кольору, якими позначається неоднорідність, і металу без відхилень структури невелика, то запропонований спосіб є досить трудомістким та суб'єктивним. Результати вимірювання площі ділянок структур-



а) в зоні пружних деформацій; б) в зоні плинності матеріалу
Рисунок 5 – Циліндричний зразок у ході випробувань на розтяг

Таблиця 3 – Результати випробувань циліндричних зразків типу III на розтяг згідно з ГОСТ 1497-84

№ зразка	Тимчасовий опір (гранича міцності), σ_B , Н/мм ²	Границя плинності, σ_T , Н/мм ²	Відносне видовження, δ_5 , %	Відносне звуження ψ , %
1	610	440	30,0	69,0
2	600	400	32,0	71,0
3	620	415	27,0	69,0
4	620	425	28,0	68,0
5	610	435	23,0	69,0
6	620	485	26,5	70,0
7	620	420	29,0	69,0
8	620	425	27,5	68,0
9	570	435	27,5	71,0
10	620	465	27,5	70,0
11	610	380	27,0	71,0
12	610	455	25,0	67,0
13	610	435	26,0	69,0
14	600	405	26,5	69,0
15	620	420	25,0	70,0
16	610	430	26,5	71,0
17	610	420	27,0	68,0
18	600	410	25,5	68,0

них неоднорідностей наведені в таблиці 4. Після аналізу отриманих результатів встановлена слабка кореляційна залежність між площею ділянок структурних неоднорідностей та фізико-механічними характеристиками сталей, яка складала не більше 0,6.

Тому в ході наступного етапу аналізу отриманих зображень за показник, що характеризує структурні неоднорідності, обрано показник інтегральної густини зображення. Показник інтегральної густини зображення за своєю суттю відображає значення амплітуди (енергії) відбитих від неоднорідностей акустичних коливань та не залежить від суб'єктивного рішення оператора, який при роботі в середовищі ImageJ повинен вибирати рівень чутливості.

Для визначення інтегральної густини зображення, що отримані за допомогою дефектоскопа з УЗФГ, піддаються обробці в програмному середовищі MathLab [7]. Додаткове ПЗ Image Processing Toolbox конвертує графічні зображення в матрицю чисел, де кожне число відповідає градієнту кольору кожного пікселя. Тобто кожному пікселю зображення присвоюється число, що залежить від його кольору. Інтегральна густина зображення характеризує суму цих чисел і є безрозмірною величиною.

Результати отриманих значень інтегральних густин зображень наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Кількісні показники зображень акустичних структурних шумів циліндричних зразків для розтягу та їх фізико-механічні характеристики

№ зразка	Площа структурних неоднорідностей, піксель ²	Інтегральна густина зображення, •10 ⁵	Границя плинності, σ_t , Н/мм ²
1	5220	8,43853	440
2	7407	15,15736	400
3	6963	12,69751	415
4	152	11,73415	425
5	207	11,58939	435
6	6404	7,69845	485
7	9965	13,86568	420
8	6719	11,06315	425
9	5038	11,57082	435
10	8724	7,87664	465
11	209	14,81317	380
12	5044	9,68726	455
13	5124	11,59324	435
14	10536	15,15478	405
15	9853	14,17472	420
16	6842	11,89456	430
17	7952	12,14123	420
18	7154	12,96452	410
Коефіцієнт лінійної кореляції	0,0576	-0,9017	1,0

Висновки

В статті розглянуто методологію експериментальних досліджень щодо визначення взаємозв'язків між параметрами зображень акустичних структурних шумів сталей та їх фізико-механічними характеристиками. Актуальними залишаються дослідження в напрямку аналізу отриманих результатів, визначення характеру та типу їх взаємозалежностей.

Література

1 Габльовська Надія Ярославівна Система контролю розвитку мікротріщин у напружено-деформованих металічних конструкціях: дисертація кандидата технічних наук: 10.04.2008: 03.11.16 / Габльовська Надія Ярославівна. – Івано-Франківськ, 2008. – 148 с.

2 Карпаш О.М. Неруйнівний контроль труб нафтового сортаменту / О.М. Карпаш, Є.І. Крижанівський, П.Я. Криничний та ін.: навч. підруч. – Івано-Франківськ: Факел, 2001. – 380 с.: іл.

3 Чабан Н.І. Розвиток акустичного виду контролю для виявлення та оцінювання структурних змін сталевих конструкцій / Н.І. Чабан, І.В. Рибіцький, В.Д. Миндюк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2018. – №3(68). – С. 27-30.

4 ГОСТ 1497-84 Метали. Методи випробувань на розтяг. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 23 с.

5 Миндюк В.Д. Експериментальна перевірка характеру зв'язку між параметрами мікроструктури і фізичними властивостями матеріалів металоконструкцій довготривалої експлуатації для оцінки ступеня їх деградації / В.Д. Миндюк, М.О. Карпаш, Е.Р. Доценко // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2013. – №3 (71). – С. 153–163.

6 Гурвич А.К. Новый информационный признак формы дефекта / А.К.Гурвич, Г.Я.Дымкин, С.Р. Цомук // Дефектоскопия. – 1990. – № 11. – С. 3-7.

7 Wick D. Free and open-source software applications for mathematics and education / D. Wick // Proceedings of the twenty-first annual international conference on technology in collegiate mathematics. – 2009. – P. 300–304.

Стаття надійшла до редакційної колегії 05.12.18

*Рекомендована до друку професором **Райтером П.М.** (ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ) канд. техн. наук **Карпашем А.М.** (НВФ «Зонд», м. Івано-Франківськ)*