

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИХРОСТРУМОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЗВАРНИХ ШВІВ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ДЕФЕКТОСКОПА НА БАЗІ СМАРТФОНА

Г. Мок¹, В.М. Учанин², Ю.Ю. Лисенко³

¹Університет Отто фон Геріке, Магдебург, Німеччина

²Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України. 79060, м. Львів, вул. Наукова, 5. E-mail: vuchanin@gmail.com

³Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». 03056, м. Київ, Берестейський проспект, 37

Наведено особливості побудови та можливостей вихрострумowego дефектоскопа на базі смартфона із застосуванням EddySmart, який в перспективі може забезпечити дистанційний контроль із бездротовим передаванням результатів контролю каналами мобільного зв'язку для подальшого аналізу та зберігання. Розглянуто перспективи застосування вихрострумowych перетворювачів (ВСП) подвійного диференціювання щодо контролю зварних швів конструкцій із алюмінієвих сплавів. Представлено характеристики та результати досліджень низькочастотних ВСП подвійного диференціювання типу МДФ 0801 і МДФ 1001М з діаметрами робочої поверхні 8 і 10 мм відповідно, які розроблено для виявлення дефектів зварних швів із алюмінієвих сплавів. Показано, що для виявлення протяжних і локальних дефектів зварних швів конструкцій із алюмінієвих сплавів на більшій глибині перевагу слід надавати вдосконаленому ВСП типу МДФ 1001М з діаметром робочої поверхні 10 мм, який забезпечує більший рівень сигналів і кращу завадостійкість. Бібліогр. 16, табл. 2, рис. 7.

Ключові слова: неруйнівний контроль, вихрострумовой перетворювач, дефектоскоп на базі смартфона, зварний шов, алюмінієвий сплав

Вступ. Сьогодні кишенькові смартфони стали невід'ємною частиною нашого життя. Смартфони відрізняються від звичайних мобільних телефонів наявністю повноцінної операційної системи, яка відкрита для розробки програмного забезпечення на відміну від мобільних телефонів, у яких операційна система замкнута. Крім того, смартфони мають риси персонального комп'ютера з постійним сховищем інформації, оперативною пам'яттю та порівняно потужним центральним і графічним процесорами. Сучасний смартфон може мати у своєму складі різноманітні датчики (зокрема акселерометр, гіроскоп, магнітометр, датчик освітлення, барометр, термометр, датчик Холла та сканер відбитків пальців), що збільшує його багатofunkціональність і можливість використання не тільки для зв'язку або розваг. Дещо нестандартним є використання смартфона в якості вимірювального приладу. Відомі приклади створення на основі смартфона повноцінного функціонуючого мікроскопа за допомогою гумової насадки на камеру з лінзою діаметром в 1 мм. Роздільна здатність такого мікроскопа складала близько 1,5 мікрона. Іншим цікавим прикладом є реалізація на основі смартфона спектрометра для аналізу світлових хвиль.

Відомі також приклади реалізації на основі смартфона повноцінних систем неруйнівного

контролю (НК), технічної діагностики та моніторингу [1–9]. У [1–3] наведено створений у Київському політехнічному інституті імені Ігоря Сікорського ультразвуковий дефектоскоп, який складається з електронного блоку з ультразвуковим сенсором і смартфона. Обмін інформацією між сенсорним блоком і смартфоном відбувається за допомогою бездротових мереж, що використовують технологію Bluetooth. Алгоритм роботи дефектоскопа реалізовано за допомогою спеціального програмного забезпечення, яке працює в середовищі операційної системи Android. Аналогічний підхід реалізовано в розробці французької фірми LECOEUR ELECTRONIQUE [4]. Інший приклад стосується системи вібраційного моніторингу технічного стану конструкцій [5]. Автори розробили системний застосунок для Android, який може легко перетворити кілька смартфонів у бездротову систему вібраційного моніторингу конструкцій. Використано архітектуру «сервер-клієнт», коли один смартфон призначений для системи дистанційного керування всіма іншими смартфонами, що дозволяє смартфону-серверу швидко та легко підключати кілька смартфонів із датчиками для створення бездротової мережі. Запропоновано також метод синхронізації різних

смартфонів для одночасного вимірювання вібрації конструкцій.

Успішною реалізацією приладу НК на основі смартфона є вихрострумний дефектоскоп (ВД) із застосунком EddySmart, який успішно використано насамперед для навчання студентів [10, 11]. Але вже сьогодні амбіції цієї розробки виходять за рамки завдань, визначених на початковому етапі його створення. У [12] вона розглядається як паросток створення перспективних технологій в рамках концепції НК 4.0. Автори, зокрема, звертають увагу на можливість бездротового пересилання результатів контролю каналами мобільного зв'язку для подальшого аналізу та зберігання. ВД на основі смартфона із застосунком EddySmart ефективно використовувався нами для мобільної демонстрації можливостей нових вихрострумових технологій виявлення внутрішніх дефектів авіаційних і космічних конструкцій, що виключало необхідність використання громіздких класичних ВД.

Низькочастотні вихрострумові перетворювачі (ВСП) подвійного диференціювання знайшли широке застосування для виявлення поверхневих і внутрішніх дефектів конструкцій із немагнітних матеріалів [13]. Їх особливістю є висока чутливість до локальних дефектів порівняно з класичними ВСП. Тому ВСП подвійного диференціювання є перспективними для створення технологій виявлення дефектів зварних швів, особливо коли контроль складнішає через сигнали завад, створених неоднорідністю питомої електропровідності та зміною геометрії (валик підсилення, депланація кромки тощо) у зоні зварного шва. Тут необхідно використовувати методи інтерпретації сигналів із використанням комплексної площини дисплея ВД [14]. ВСП подвійного диференціювання вже знайшли своє застосування, у тому числі для виявлення непроварів і пор зварних швів [15, 16]. У повздовжніх зварних швах обичайно космічних конструкцій із алюмінієвого сплаву 1201, виконаних електронно-променевим зварюванням, успішно виявляли поверхневі дефекти типу несплавлення (злипання). Дефекти цього типу можуть утворюватися при відхиленні електронного променя від стику зварюваних частин. Через часткове дифузійне з'єднання (злипання) зварюваних крайок такий дефект є надзвичайно складним для виявлення традиційними методами НК. Інший приклад стосується проблеми виявлення зварювальних поверхневих і внутрішніх дефектів різного типу в зварних швах космічних конструкцій зі сплавів типу АМГ-5 і АМГ-6, виконаних дуговим зварюванням. Технології контролю на основі використання низькочастотних ВСП забезпечили виявлення не тільки поверхневих дефектів, а й підповерхневих дефектів типу пор, непроварів,

включень та оксидних плівок, незважаючи на завади, створені неоднорідністю геометрії зварного шва. Результати подальших досліджень показали можливість вдосконалення та оптимізації ВСП для контролю зварних швів з метою зменшення розмірів ВСП з відповідним покращенням роздільної здатності за одночасного збільшення глибини контролю, що дозволить виявляти протяжні та локальні дефекти на більшій глибині.

У даній роботі наведено особливості побудови та можливості ВД на базі смартфона та проведені з його допомогою дослідження вдосконалених низькочастотних ВСП подвійного диференціювання для виявлення внутрішніх дефектів зварних швів із алюмінієвих сплавів.

1. Побудова, основні функції та можливості вихрострумового дефектоскопа на основі смартфона. Розглянемо основні функції, які необхідно реалізувати для створення ВД на базі смартфона, за допомогою узагальненої функціональної схеми типового ВД (рис. 1). Створення первинного синусоїдального електромагнітного поля необхідної робочої частоти виконується керованим генератором 1 і підсилювачем потужності 2, які забезпечують необхідний рівень струму в генераторній обмотці ВСП 3, яка взаємодіє з об'єктом контролю (ОК) 4, індукуючи в ньому вихрові струми. Результуюче електромагнітне поле ОК 4 створює сигнал у вимірювальній обмотці ВСП 3, яке несе компоненти, що обумовлені небалансом ВСП (сигнал вимірювальної обмотки при встановленні на бездефектну частину ОК) і впливом дефекту в ОК під час сканування його поверхні. Поява дефекту під час сканування змінює розподіл вихрових струмів, що впливає на вхідний сигнал ВСП, реалізуючи модуляцію вихідного сигналу ВСП на робочій частоті. Вихідний сигнал ВСП надходить на вхідний каскад 5, який забезпечує його покращення шляхом підсилення до необхідного рівня та ВЧ-фільтрації. Далі сигнал надходить на фазочутливі детектори 6 і 7, які реалізують операцію демодуляції сигналу ВСП, формуючи на виході сигнали на постійному струмі, що відповідають реальній і мнимій компонентам вихідного сигналу ВСП. Далі вихідні сигнали фазочутливих детекторів 6 і 7 через фільтри 8 надходять на суматори 9 компенсації небалансу ВСП, на інший вхід яких надходять необхідні для компенсації небалансу сигнали схеми 10 формування сигналу компенсації небалансу з кнопкою запуску 11. Для зменшення впливу завад використовують фільтри нижніх (НЧ) або верхніх частот (ВЧ) з можливістю регулювання частоти зрізу. При одночасному застосуванні обох фільтрів забезпечувався режим смугового фільтру. Для компенсації сигналу небалансу ВСП його встановлюють на

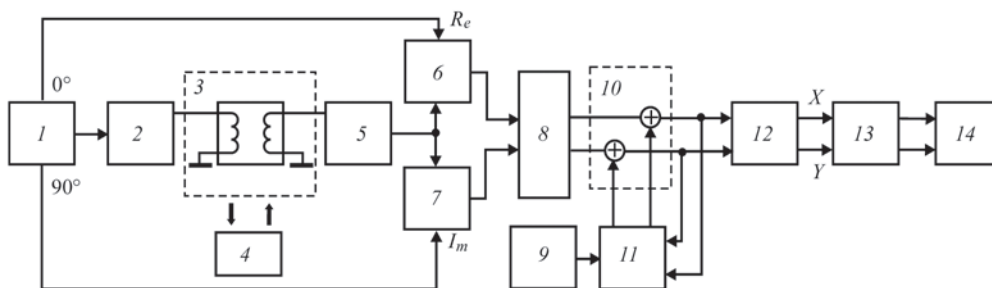


Рис. 1. Функціональна схема побудови типового ВД: 1 – генератор; 2 – підсилювач потужності; 3 – ВСП; 4 – ОК; 5 – вхідний каскад; 6 і 7 – фазочутливі випрямлячі; 8 – фільтри; 9 – суматор; 10 – схема формування сигналу компенсації небалансу з кнопкою запуску 11; 12 – фазообертач; 13 – підсилювач X і Y складових; 14 – дисплей

бездефектну частину зразка, після чого оператор запускає процес балансування натисканням кнопки 11. Таким чином, реальна (R_e) та уявна (I_m) компоненти сигналу позбуваються складових, що відповідають положенню ВСП на бездефектній частині зразка (ОК). Ця операція дозволяє виділити компоненти, які відповідають тільки впливу дефекту. Далі отримані компоненти надходять на фазообертач 12, який обертає комплексну площину ВД на кут $0...360^\circ$, що дозволяє маніпулювати годографами сигналів у комплексній площині ВД під час сканування поверхні ОК, скеровуючи корисний сигнал, наприклад, у вертикальному напрямку дисплея. З виходу фазообертача 12 через підсилювач 13 горизонтальна X і вертикальна Y компоненти надходять на дисплей ВД, який відображує зміни сигналу ВСП у комплексній площині (режим Y/X) або зміни реальної або уявної складових сигналу ВСП у режимі часової розгортки (режим Y/t або X/t).

Сучасний смартфон містить усі компоненти, необхідні для побудови вихрострумowego приладу з наведеними вище функціями (рис. 1). Його аудіоінтерфейс дозволяє одночасно передавати та приймати сигнали частотою до 20 кГц, що достатньо для роботи у низькочастотному діапазо-

ні вихрострумowego контролю. Таким чином, основна ідея розробки полягає у використанні для побудови вихрострумowego приладу звукової системи смартфона на відміну від ультразвукових систем на основі смартфона, коли необхідні для створення дефектоскопа вузли (зокрема генератори та елементи схеми обробки сигналів) виконано в окремому блоці [10, 11]. У цьому випадку ВСП підключають безпосередньо до аудіороз'єму смартфона, який забезпечує достатньо потужний для його роботи сигнал без необхідності використовувати додатковий підсилювач потужності. Якість 4-х-контактного аудіороз'єму відіграє важливу роль, тому необхідно вибирати варіант виконання з позолоченими контактами. Для такого підключення кабель ВСП оснащений електронною схемою, що імітує гарнітуру. Розроблений в Магдебургському університеті Отто фон Геріке (Otto von Guericke) дефектоскоп передбачає використання смартфона з операційною системою Android, зокрема серії Samsung Galaxy.

Узагальнену структуру програмного застосунку EddySmart наведено на рис. 2, де також показано відповідність індикації результатів контролю та операцій налаштування різним зонам сенсорного екрану смартфона. Звідси видно, що більшість

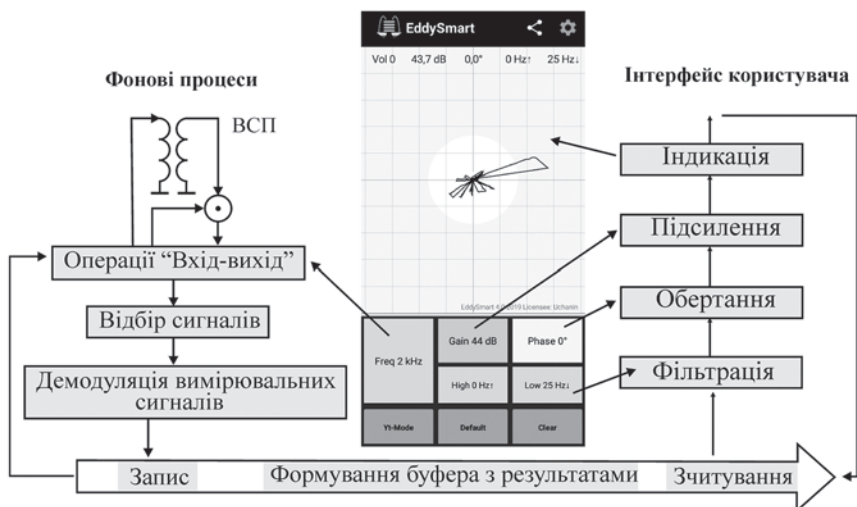


Рис. 2. Узагальнена структура та вигляд дисплея програмного застосунку EddySmart

функцій ВД, наведених на рис. 1, реалізовано програмним способом.

Фоновий процес одночасно обробляє буфери сигналів ВСП (вихідного збудження та вхідного вимірювання). Він заповнює двоканальний буфер синусоїдального сигналу збудження та спорожнює одноканальний буфер вхідного сигналу, який містить суміш сигналів збудження та вимірювання. Вимірювальний сигнал відокремлюється в отриманому сигналі та демодулюється відносно сигналу збудження ВСП. Цей процес реалізується без участі користувача (оператора-дефектоскопіста).

Інтерфейс користувача забезпечує індикацію результатів контролю, підсилення для збільшення отриманих годографів та їх обертання в комплексній площині, а також фільтрацію. Вибором цих параметрів керує оператор-дефектоскопіст за допомогою сенсорного екрану смартфона.

Верхній рядок дисплея смартфона показує рівень аудіосигналу, який регулюється відповідною кнопкою смартфона, а також рівень підсилення, кут повороту комплексної частоти та частоти зрізів НЧ і ВЧ фільтрів. Більша частина дисплея смартфона призначена для індикації результатів контролю, яка може відображати годографи сигналів від дефектів у комплексній площині або зміни сигналу від дефекту в режимі часової розгортки. Ця частина дисплея призначена також для регулювання підсилення та повороту комплексної площини шляхом легко засвоюваних оператором маніпуляцій [10, 11]. Нижня третина сенсорного дисплея призначена для вибору режимів і параметрів контролю відповідними кнопками, у тому числі: вибір робочої частоти (Freq – ліва верхня), перемикання на режим часової розгортки (Yt-mode – ліва нижня), вмикання підсилення (Gain dB – верхня в середньому ряду), вибір частоти

зрізу фільтра високих частот (High Hz – середня), операції відміни (Default – нижня в середньому ряду), вибору фази (Phase – верхня в правому ряду), вибір частоти зрізу фільтра низьких частот (Low Hz – середня в правому ряду) і вибір режиму запису або очищення екрану (Record або Clear – нижня в правому ряду).

Представлені можливості ВД на базі смартфона дозволяють використати його для вибору оптимальної робочої частоти та дослідження чутливості ВСП до підповерхневих дефектів різного типу.

2. Дослідження низькочастотних ВСП подвійного диференціювання для виявлення дефектів зварних швів конструкцій із алюмінієвих сплавів.

2.1. Досліджувані ВСП, зразки та методика досліджень. Досліджували експериментальні зразки двох низькочастотних ВСП подвійного диференціювання типу МДФ 0801 і МДФ 1001М з діаметрами робочої поверхні 8 і 10 мм відповідно (рис. 3), які розроблено для виявлення дефектів зварних швів із алюмінієвих сплавів. Особливістю ВСП типу МДФ 0801 є більша роздільна здатність, необхідна для виявлення не тільки видовжених дефектів типу тріщина, а й локальних дефектів достатньо малого діаметра типу пора або включення. Перевагою ВСП типу МДФ 1001М є збільшена глибина контролю за рахунок збільшення діаметра обмоток. Параметри експериментальних ВСП наведено в табл. 1, де: $D_{\text{ВСП}}$ – діаметр ВСП; $D_{\text{ф}}$ – діаметр феритового осердя, $w_{\text{ОЗ}}$ і $w_{\text{ВО}}$ – кількість витків обмотки збудження та вимірювальної обмотки відповідно; $L_{\text{ОЗ}}$ і $L_{\text{ВО}}$ – індуктивності обмотки збудження та вимірювальної обмотки відповідно.

Для дослідження впливу глибини залягання дефекту незалежно від його розміру викори-



Рис. 3. Досліджувані ВСП подвійного диференціювання типу МДФ 0801 і МДФ 1001М

Таблиця. 1. Параметри досліджуваних ВСП

Тип ВСП	$D_{\text{ВСП}}$, мм	$D_{\text{ф}}$, мм	$w_{\text{ОЗ}}$	$w_{\text{ВО}}$	$L_{\text{ОЗ}}$, мкГн	$L_{\text{ВО}}$, мГн
МДФ 0801	8,0	1,85	215	416	940	3,7
МДФ 1001М	10,0	2,9	125	420	310	1,4

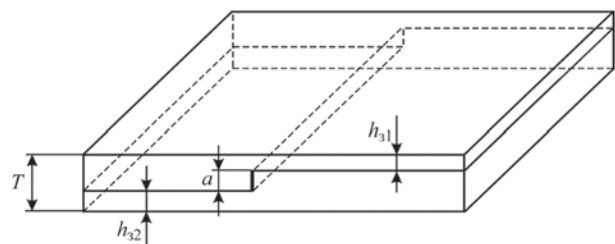


Рис. 4. Складений СЗ для відтворення двох дискретних значень глибини залягання дефекту

стано складені стандартні зразки (СЗ), кожний із яких дозволяє імітувати дефект однакової глибини для двох дискретних значень глибини залягання (рис. 4). Дві частини СЗ складаються таким чином, що після їх суміщення утворюється прямокутна пластина завтовшки T з перпендикулярним до поверхні СЗ стиком двох частин, який відтворює підповерхневий дефект завглибшки a . З різної поверхні СЗ глибини залягання дефекту h_{31} і h_{32} є різними відповідно до співвідношення $h_{31} + h_{32} + a = T$. Для досліджень використано два СЗ із алюмінієвого сплаву Д16 Т, параметри яких представлено в табл. 2.

Таким чином, представлені СЗ дозволяють отримати чотири дискретні значення (1,0; 2,0; 3,0 і 4,0 мм) глибини залягання дефекту.

Таблиця 2. Параметри СЗ для дослідження впливу глибини залягання дефекту

Тип СЗ	Товщина СЗ T , мм	Глибина дефекту a , мм	Глибина залягання, мм	
			h_{31}	h_{32}
СОП 7.2.2-3	7,0	2,0	2,0	3,0
СОП 7.2.1-4	7,0	2,0	1,0	4,0

4,0 мм) глибини залягання однакового за розмірами підповерхневого дефекту типу тріщина та дослідити вплив глибини залягання дефекту на сигнал ВСП незалежно від розмірів дефекту.

2.2. Порівняльний аналіз сигналів ВСП від підповерхневих дефектів. На рис. 5 наведено сигнали ВСП типу МДФ 0801 від дефектів СЗ з різною глибиною залягання в комплексній площині на робочій частоті 2 кГц, яка для цих дефектів виявилась оптимальною.

На рис. 6 наведено сигнали ВСП типу МДФ 1001М від дефектів СЗ з різною глибиною залягання в комплексній площині на робочій частоті 2 кГц.

Аналіз сигналів ВСП на рис 5, 6 показує, що ВСП типу МДФ 0801 і МДФ 1001М дозволяють виявляти усі дефекти СЗ з глибиною залягання до 4 мм, хоча для обох ВСП амплітуда сигналів від дефектів суттєво зменшується зі збільшенням глибини їх залягання. Одночасно зі збільшенням глибини залягання напрямок годографа від дефекту (фаза сигналу) в комплексній площині розгортається за годинниковою стрілкою, що в перспективі може бути використано для визначення глибини залягання дефекту. При цьому ВСП типу МДФ

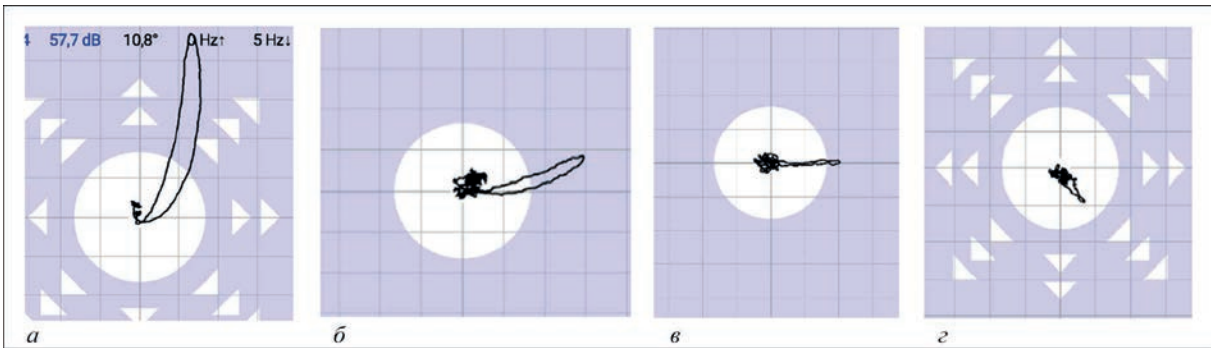


Рис. 5. Сигнали ВСП типу МДФ 0801 на робочій частоті 2 кГц від дефектів СЗ (рис. 2) з глибиною залягання, мм: 1 (а); 2 (б); 3 (в), 4 (г); коефіцієнт підсилення для дефектів з різною глибиною залягання, дБ: 58 (а); 64 (б); 70 (в, г)

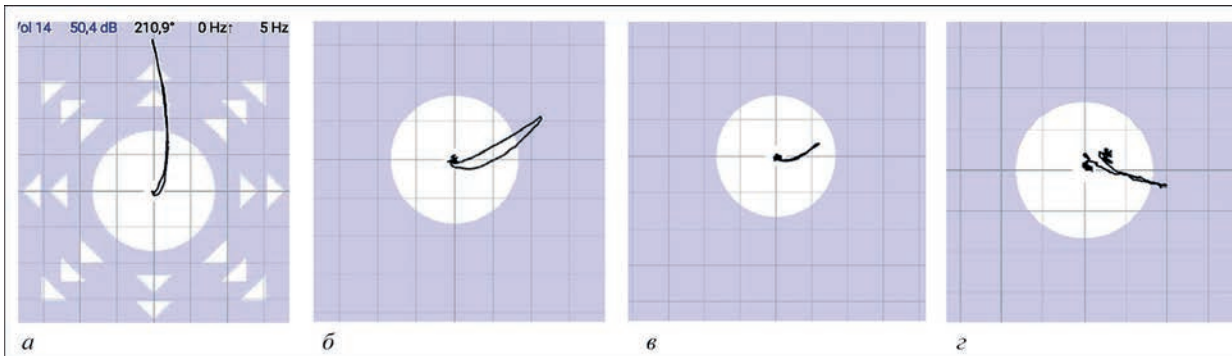


Рис. 6. Сигнали ВСП типу МДФ 1001М на робочій частоті 2 кГц від дефектів СЗ (рис. 2) з глибиною залягання, мм: 1 (а); 2 (б); 3 (в), 4 (г); коефіцієнт підсилення для дефектів з різною глибиною залягання, дБ: 50 (а); 56 (б-г)

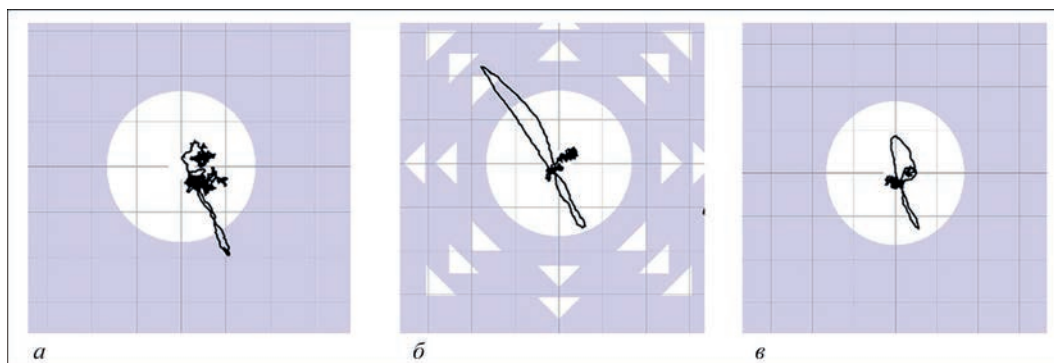


Рис. 7. Сигнали ВСП типу МДФ 0801 (а) і МДФ 1001М (б, в) на робочій частоті 2 кГц від підповерхневих локальних дефектів діаметром 1,0 мм з глибиною залягання 0,6 мм (а, б) і 1,0 мм (в); коефіцієнт підсилення для дефектів з різною глибиною залягання, дБ: 66 (а); 62 (б, в)

0801 вимагає більшого підсилення сигналу. Зокрема для виявлення дефекту з глибиною залягання 4 мм за допомогою ВСП типу МДФ 0801 необхідно підсилення 70 дБ і лише 56 дБ необхідно при використанні ВСП типу МДФ 1001М. Це свідчить про більші можливості ВСП типу МДФ 1001М за необхідності виявляти підповерхневі дефекти, оскільки зі збільшенням підсилення збільшується рівень завад, що видно з порівняння сигналів на рис 3 і 4. Але не слід забувати, що ВСП типу МДФ 0801 може мати потенційну перевагу щодо роздільної здатності та можливості виявляти локальні дефекти меншого розміру через суттєво менший діаметр використаних феритових осердь (див. табл. 1).

Для дослідження сигналів від підповерхневих локальних дефектів використано пластину із алюмінієвого сплаву Д16Т завтовшки 6 мм з двома плоскодонними отворами діаметром 1,0 мм на різну глибину, імітуючи підповерхневі локальні дефекти з глибиною залягання 0,6 і 1,0 мм. Відповідні сигнали для ВСП типу МДФ 0801 і МДФ 1001М на робочій частоті 2 кГц наведено на рис. 7.

Отримані сигнали (рис. 7) показують, що ВСП типу МДФ 0801 і МДФ 1001М забезпечують виявлення локального дефекту діаметром 1 мм. Але ВСП типу МДФ 0801 дозволяє ідентифікувати тільки дефект з глибиною залягання 0,6 мм (рис. 7, а). У той же час, тут сигнал від дефекту спотворено високим рівнем завад порівняно з сигналом ВСП типу МДФ 1001М від цього ж дефекту (рис. 7, а).

Підсумовуючи отримані на рис 6, 7 результати зазначимо, що за необхідності виявляти протяжні та локальні дефекти на більшій глибині перевагу слід надавати вдосконаленому ВСП типу МДФ 1001М, який забезпечує більший рівень сигналів, створених підповерхневими дефектами, та кращу завадостійкість.

Висновки

Розглянуто особливості побудови та можливості вихрострумового дефектоскопу на базі смартфона із застосунком EddySmart, який в перспективі може забезпечити дистанційний контроль з

бездротовим передаванням результатів контролю каналами мобільного зв'язку для подальшого аналізу та зберігання. Проведено аналіз перспектив використання вихрострумових перетворювачів подвійного диференціювання для контролю зварних швів конструкцій із алюмінієвих сплавів. Представлено характеристики та результати досліджень низькочастотних ВСП подвійного диференціювання типу МДФ 0801 і МДФ 1001М з діаметрами робочої поверхні 8 і 10 мм відповідно, які розроблено для виявлення дефектів зварних швів із алюмінієвих сплавів. Показано, що для виявлення протяжних і локальних дефектів зварних швів конструкцій із алюмінієвих сплавів на більшій глибині перевагу слід надавати вдосконаленому ВСП типу МДФ 1001М, який забезпечує більший рівень сигналів та кращу завадостійкість.

Список літератури/References

1. Petryk, V., Protasov, A., Galagan, R. et al. (2020) Smartphone-based automated non-destructive testing devices. *Devices and Methods of Measurements*, **11**(4), 272–278. DOI: <https://doi.org/10.21122/2220-9506-2020-11-4-272-278>
2. Петрик В., Протасов А., Серий К., Повшенко О. (2019) Використання серійних мобільних пристроїв при проектуванні портативних дефектоскопів. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, **30**(69), **6**(2), 12–16. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/03>
3. Petryk, V., Protasov, A., Syeryy, K., Povshenko, O. (2019) Use of serial mobile devices in design of portable flaw detectors. *Vcheni Zapysky TNU, Seriya: Tekhnichni Nauki*, **30**(69), **6** (2), 12–16. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-2/03> [in Ukrainian].
4. Petryk, V., Protasov, A., Syeryy, K., Ukrainec, S. (2017) Wireless data transmission in ultrasonic nondestructive testing. *Scientific proceedings of STUME, NDT days 2017*, Sozopol, 216(1), 121–123. DOI: <https://www.lecoeur-electronique.net/us-web.html>
5. Zhang, D., Tian, J., Li, H. (2020) Design and validation of android smartphone based wireless structural vibration monitoring system. *Sensors*, **20**(17), 4799. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20174799>
6. Xie, B., Li, J., Zhao, X. (2019) Research on damage detection of a 3D steel frame model using smartphones. *Sensors*, **19**(3), 745–762. DOI: <https://doi.org/10.3390/s19030745>
7. Yu, Y., Han, R., Zhao X. et al. (2015) Initial validation of mobile-structural health monitoring method using smartphones. *Intern. J. of Distributed Sensor Networks*, **11**(2), 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1155/2015/274391>
8. Meiqin, Z., Weiguo, G., Zhenghao, L., Liu-yang, Z. (2007) Design of remote monitoring system for household appli-

- cances and home security based on smart phone. *Measurement and Control Technology*, **26**(8), 72–75.
9. Felice, M., Heng, I., Udell, C., Tsalicoglou, I. (2021) Improving the productivity of ultrasonic inspections with digital and mobile technologies. In: *Proc. conf. «NDE 2019»*, Dec 5–7, Bengaluru, India. <https://www.ndt.net/article/nde-india2019/papers/CP227>.
 10. Mook, G., Simonin, Y. (2018) Eddy current notebook and smartphone. In: *Apps. Proc. of 14th Intern. Conf. of the Slovenian Society for NDT*, Sep 4–6, 2017, Bernardin, Slovenia. <https://www.ndt.net/article/ndt-slovenia2017/papers/135.pdf>
 11. Mook, G., Simonin, Y. (2018) Smartphone turns into eddy current instrument. In: *Proc. of 12th Europ. Conf. on NDT*, Gothenburg, Sweden, June 11–15. <https://www.ndt.net/article/ecndt2018/papers/ecndt-0079-2018.pdf>
 12. Udell, C., Maggioni, M., Mook, G., Meyendorf, N. (2022). Improving NDE 4.0 by networking, advanced sensors, smartphones, and tablets. In: *Meyendorf, N., Ida, N., Singh, R., Vrana, J. (eds) Handbook of Nondestructive Evaluation 4.0*. Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-73206-6_53
 13. Uchanin, V. (2023) Surface eddy current probes of double differential type as an effective tool to solve non-destructive inspection problems. *The Paton Welding J.*, **2**, 46–55. DOI: <https://doi.org/10.37434/tpwj2023.02.07>
 14. ДСТУ ISO 17643:2018 *Незрушувальний контроль сварних швів. Вихретоковий контроль сварних швів с анализом в комплексной плоскости*. DSTU ISO 17643:2015 *Non-destructive testing of welds. Eddy current testing of welds by complex-plane analysis*.
 15. Учанин В. (2008) Вихретоковий контроль сварних соединений. *Техн. диагност. и неразруш. контроль*, **4**, 71–80.
 16. Uchanin, V. (2008) Eddy current testing of welded joints. *Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol*, **4**, 71–80 [in Russian]
 17. Uchanin, W. (2013) Badania nieniszczące złączy spawanych z wykorzystaniem metody prądów wirowych. *Przegląd spawalnictwa*, **85**(7), 25–33. [in Polish]

RESEARCH OF EDDY CURRENT PROBES FOR INSPECTION OF ALUMINUM ALLOY STRUCTURE WELDS USING SMARTPHONE-BASED FLAW DETECTOR

G. Mook¹, V. Uchanin², Ju. Lysenko³

¹Otto-von-Guericke-Universität, Magdeburg, Germany

²G.V. Karpenko Physico-Mechanical Institute of NASU. 5 Naukova str., 79060, Lviv, Ukraine. E-mail: vuchanin@gmail.com

³NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». 37 Beresteysky Ave., 03056, Kyiv, Ukraine

Features of the design and capabilities of the smartphone-based eddy current flaw detector with the EddySmart software application are presented, which in the future can provide remote control with wireless transmission of inspection results via mobile communication channels for further analysis and storage. The perspectives of application of eddy current probes of double differentiation type for inspection of welded joints of structures made of aluminum alloys are considered. The characteristics and results of studies of low-frequency double differentiation eddy current probes of MDF 0801 and MDF 1001M type with operational diameters of 8 and 10 mm, respectively, developed for detection of the defects in aluminum alloy welded joints are presented. It is shown that to detect defects of different type in aluminum alloy welded joints at a greater depth, preference should be given to the improved eddy current probe of MDF 1001M type with an operational diameter of 10 mm, which provides a higher level of signals and better noise resistance. 16 Ref., 2 Tabl., 7 Fig.

Keywords: non-destructive testing, eddy current probe, smartphone based flaw detector, welded joints, aluminum alloy

Отримано 05.07.2024

Отримано у переглянutoму вигляді 14.08.24

Прийнято 24.09.24

ЧОМУ НЕРЖАВКА СТАЛЬ НЕ ІРЖАВІЄ?

Іржа є постійною проблемою для заліза, яке легко окислюється при взаємодії з повітрям і водою. Навіть такий твердий сплав заліза та вуглецю, як сталь, легко іржавіє. Але нержавка сталь, схоже, не іржавіє. То в чому ж її секрет? Про це пише Live Science. Звичайна сталь іржавіє, коли залізо входить у хімічну реакцію з киснем з утворенням оксиду заліза. Хоча іржа зазвичай не шкідлива для людини, вона може сильно роз'їсти залізо, і сталь втратить свої важливі властивості. Сплав 99 % заліза і 0,2...1 % вуглецю є звичайною сталлю. Але нержавка сталь складається з заліза приблизно на 75 %, а також у цьому сплаві знаходиться приблизно 1 % вуглецю та понад 10 % хрому. До складу нержавкої сталі також входить трохи нікелю, що робить сплав не тільки міцнішим, але й легшим в обробці.

Чому нержавка сталь не іржавіє? За словами матеріалознавця Тіма Коллінза, саме завдяки хрому нержавка сталь стає стійкішою до іржі. Хром реагує з киснем і водою та створює шар оксиду хрому, що лежить на поверхні сплаву. Цей шар не дає кисню досягти заліза та запобігає реакції окислення, тобто сталь не може іржавіти. Захисний шар на нержавкій сталі має товщину всього кілька нанометрів і, таким чином, невидимий, каже Коллінз. Цей шар з оксиду хрому може відновлюватись, якщо він пошкоджений і не вступає в хімічну реакцію з іншими речовинами. Таким чином, нержавка сталь добре підходить для приготування продуктів харчування, а також для застосування в медицині та в ін. галузях.

За словами Коллінза, майже з 2 млрд. тонн сталі, яку використовують щороку в усьому світі, приблизно 4 % – це нержавка сталь. Але цей особливий метал складно та дорого виробляти. Вважається, що виробництво нержавкої сталі коштує приблизно у 3-5 разів дорожче, ніж звичайної сталі. Якщо ж до цього сплаву додають інші метали, наприклад молібден для використання під водою, то виробництво стає ще дорожчим. Тому часто використовують звичайну сталь, яку покривають спеціальними покриттями, щоб вона не так сильно іржавіла. Але нержавка сталь має багато застосувань, незважаючи на складність і коштовність створення.

За словами Канта Шелке з Університету Джонса Хопкінса, якщо йдеться про приготування продуктів харчування, то нержавка сталь має багато переваг. Вона стійка до корозії від харчових кислот і хімікатів, не забруднює жодні продукти, з якими стикається. Нержавка сталь також довговічна та дуже міцна.

Хто винайшов нержавку сталь? Винахідником нержавкої сталі вважається англійський металург Гаррі Бірлі, який створив цей сплав у 1912 р., коли вивчав сталеві сплави не предмет запобігання корозії у стволах зброї. Бірлі створив сплав із заліза, вуглецю, хрому та нікелю. Але цей сплав не підходив для стволів зброї, тому автор викинув його. За кілька тижнів металург зауважив, що блискучий сплав не заіржавів, тому він розробив новий матеріал і представив його світу у 1915 р.



https://www.ukr.net/news/details/science/106673379.html?utm_source=share&utm_medium=mobile