



РОЗДІЛЬНИЙ ВИХРОСТРУМОВИЙ КОНТРОЛЬ ДЕФЕКТІВ І ТОВЩИНИ ФАРБОВОГО ПОКРИТТЯ

С. М. МАЄВСЬКИЙ, д-р техн. наук (Нац. техн. ун-т України «Київський політехнічний інститут»)

Розроблена схема вихрострумowego дефектоскопу з використанням двох однакових резонансних контурів — одного на основні котушки індуктивності вимірювального вихрострумowego перетворювача, а іншого — на основі допоміжної котушки індуктивності. Відрізняється простотою настроювання частоти задаючого генератора та роздільною індикацією за знаком вихідної напруги як поверхневого дефекту матеріалу об'єкта контролю, так і зазору між поверхнею цього матеріалу та вимірювальним перетворювачем. Висока чутливість дефектоскопу до поверхневих дефектів має місце завдяки використанню напівзамкнутого феритового магнітопроводу, що концентрує електромагнітний потік котушки вихрострумowego вимірювального перетворювача для збудження в об'єкті контролю вихрових струмів в зоні обмежених розмірів.

Circuit of eddy current flaw detector was developed, using two similar resonance circuits - one based on induction coil of measuring eddy current converter, and the other - based on an additional inductance coil. It features the simplicity of setting up the driving generator frequency and separate indication by output voltage sign of both the surface defect of examined object material and the clearance between this material surface and measuring converter. High sensitivity of flaw detector to surface defects is due to application of half-closed ferritic magnet core, which concentrates the electromagnetic flux of the coil of eddy current measuring converter to excite eddy currents in the examined object in a zone of limited dimensions.

Для контролю виробів з алюмінію і його сплавів, а також виробів з титану широко застосовується вихрострумований контроль, особливо у сучасній авіаційній техніці для виявлення небезпечних поверхневих дефектів тонких дюралевих листів, що використовуються як обшивка фюзеляжу та площин крил літака, елементів конструкції літаків з титану.

Основною проблемою реалізації подібного контролю є те, що вплив дефекту на зміну вихідної напруги вихрострумowego перетворювача (ВСП) збігає за знаком зміни напруги внаслідок існування навіть невеликого прозору між котушкою перетворювача і поверхнею об'єкта контролю. До того ж такий прозорі завжди існує, адже поверхня фюзеляжу і крил вкривається непровідною фарбою і товщину цього покриття теж доцільно контролювати.

Відома розробка фірми «Інститут доктора Фьостера» (ФРН) [1] вихрострумowego дефектоскопу з включенням ВСП до складу резонансного контуру двохконтурного генератора з частотою $f > 1$ МГц, що дозволяє відповідним вибором частоти генерації розділити знак зміни вихідної напруги генератора для випадку впливу дефекту чи прозору. Певним недоліком такої генераторної схеми включення ВСП є складність настроювання частоти генератора та можливість зриву генерації внаслідок впливу параметрів матеріалу об'єкта контролю, наприклад, градієнтів його провідності.

В даній роботі наведені результати розробки високочутливого ВСП та схеми вихрострумowego дефектоскопу, в якому також досягнуто розділен-

ня за знаком вихідної напруги при індикації дефекта (поверхневої тріщини) та зміні величини прозору. Зрозуміло, що чутливість ВСП до дефектів мінімального розміру досягається за рахунок зменшення об'єму зони існування вихрових струмів у середовищі матеріалу об'єкта контролю, що можливо при використанні таких же обмежених за розмірами котушок індуктивності ВСП. В свою чергу низьке значення індуктивного опору перетворювача для отримання необхідної чутливості вимагає підвищення частоти струму для їх живлення.

Розроблений ВСП (рис. 1) складається з двохшарової котушки індуктивності з внутрішнім діаметром 1 мм та такою ж довжиною, яка розміщується на центральному осерді майже замкнутого феритового магнітопроводу таким чином, щоб поле розсіювання цієї котушки повністю використовувалось для взаємодії з провідним середовищем об'єкта контролю, відтворюючи в ньому вихрові струми. Діаметр мідного дроту котушки індуктивності становить 0,086 мм, число витків 18. При цьому індуктивність котушки становить 3...4 мкГн, що дозволяє на частоті струму у котушці ВСП біля 1 МГц виявляти в дюралевих листах поверхневі дефекти (тріщини) довжиною 0,5 мм, глибиною 0,1 мм та розкривом від 1 мкм.

З метою усунення залежності результату контролю від кута нахилу вісі перетворювача α відносно нормалі до поверхні об'єкта контролю у межах $\pm 30^\circ$ центральна частина фериту (осердя) зроблена видовженою приблизно на 1...1,2 мм. Як показують реальні заміри при такому видовженні центрального стрижня фериту індуктивність котушки перетворювача практично не за-

лежить від кута нахилу його вісі у зазначених куткових межах (рис. 1, б).

Наведемо реальні результати дослідження такого ВСП при його роботі у складі височастотного (1 мГц) вихрострумового дефектоскопу. Індуктивність перетворювача становить 3,806 мкГн. При встановленні перетворювача на поверхню виробу з дюралюмінію марки А1 його індуктивність зменшується за рахунок взаємодії поля котушки з полем вихрових струмів і становить 3,555 мкГн. Проходження перетворювачем дефекту (тріщини) з зазначеними вище розмірами приводить до зростання індуктивності на 0,043 мкГн, тобто на 1,2 %. Встановлення ВСП на поверхню сталюого зразка (Ст3) приводить до зростання індуктивності перетворювача до 3,925 мкГн. Зміна індуктивності в напрямку зростання від наявності тріщини з аналогічними розмірами становить 0,122 мкГн, тобто індуктивність зростає на 3 %.

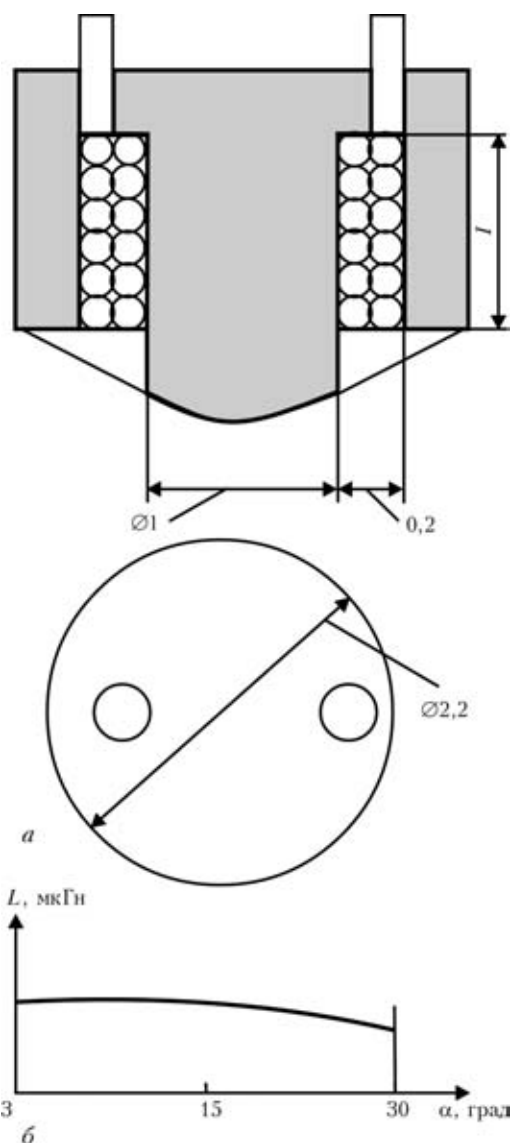


Рис. 1. Схематичне зображення ВСП (а) та залежність індуктивності ВСП від кута нахилу його вісі відносно нормалі до поверхні об'єкта контролю (б)

Наведені дані свідчать про те, якими невеликими приростами параметрів перетворювача необхідно оперувати, щоб виявляти і класифікувати дефекти. Такого ж рівня зміни індуктивності та опору котушки перетворювача мають місце і при зміні величини зазору між перетворювачем і поверхнею об'єкта контролю, наприклад, при зміні товщини фарбового покриття та локальних градієнтах провідності, що особливо часто спостерігається при контролі сталених силових конструкцій, які зазнали утоми металу (мікроструктурних деградацій на кристалічному рівні).

Для максимального спрощення налаштування на необхідне значення робочої частоти, при якій має місце розділення за знаком приросту напруги на ВСП під впливом на неї поверхневого дефекту (тріщини) або зміни величини зазору між перетворювачем і поверхнею об'єкта контролю крім котушки індуктивності згаданого вище перетворювача використано таку ж додаткову котушку індуктивності (ДКІ), що не взаємодіє своїм електромагнітним полем з провідним середовищем. При цьому котушка ВСП і додаткова котушка включені до складу однакових за добротністю паралельних резонансних контурів з підключенням до кожного з них напруги генератора.

Функціональна схема подібної системи вихрострумового контролю представлена на рис. 2, де котушка індуктивності ВСП і допоміжна котушка індуктивності представлені їх схемами заміщення — послідовним включенням однакових індуктивностей L та їх активних опорів r . На рис. 3, а наведена векторна діаграма напруг ВСП з урахуванням внесеної до котушки індуктивності ВСП реактивної та активної напруг за рахунок взаємної індуктивності витків котушки ВСП з віртуальними витками вихрових струмів у середовищі об'єкта контролю.

Амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) чотирьохполосників на основі резонансних контурів представлені на рис. 3, б. Крива 1 відповідає частотній характеристиці чотирьохполосника на основі допоміжної котушки індуктивності, крива 2 — частотній характеристиці чотирьохполосника на основі ВСП, котушка індуктивності якого взаємодіє своїм електромагнітним полем з матеріалом об'єкта контролю, що супроводжується зменшенням її індуктивного та підвищенням активного опорів за рахунок відповідних опорів внесених полем індуктивності вихрових струмів в провідному матеріалі об'єкта.

Значення робочої частоти задаючого генератора Γ (рис. 2) $\omega_{роб}$ задаємо, виходячи з рівноваги вихідних напруг на контурі ВСП та на контурі допоміжної котушки індуктивності. На частотній вісі робочій частоті відповідає точка перетину АЧХ контуру ДКІ (крива 1 на рис. 3, б) та АЧХ контуру ВСП (крива 2). Робоча частота $\omega_{роб}$ по-

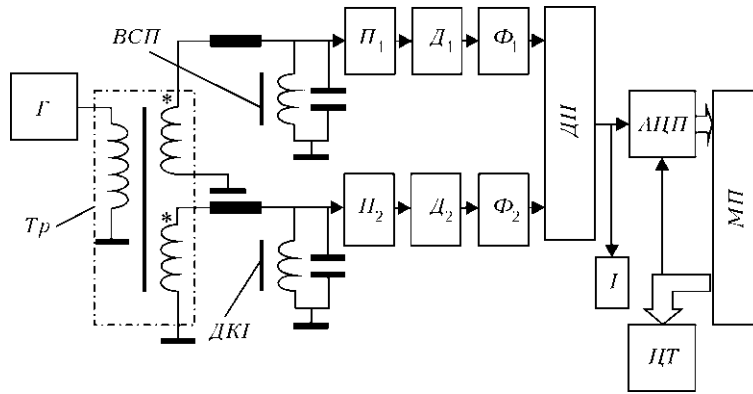


Рис. 2. Функціональна схема вихрострумівий системи контролю: (Г — генератор; Тр — трансформатор; ВСП — вихрострумівий перетворювач; ДКІ — додаткова котушка індуктивності; П₁, П₂ — повторювачі; Д₁, Д₂ — детектори (випрямлячі); Ф₁, Ф₂ — фільтри нижніх частот; ДП — диференційний підсилювач; І — індикатор дефекту; АЦП — аналого-цифровий перетворювач; МП — мікропроцесор; ЦТ — цифрове табло

винна бути меншою за резонансну частоту контуру допоміжної котушки індуктивності.

Згідно векторній діаграмі напруг (рис. 3, а) на активному і реактивному опорів ВСП при контролі діаманітного матеріалу (алюміній та його сплави, титан) вплив поверхневого дефекту (тріщини) пояснюється вектором зміни напруги на котушці ВСП P_d , а впливу зазору між перетворювачем і поверхнею об'єкта контролю відповідає вектор зміни напруги $P_{пр}$. З експериментальних досліджень відомо, що згадані фактори впливу на зміну напруги на котушці ВСП відрізняються величиною зменшення індуктивного та, головне, активного опорів, що вносяться до котушки індуктивності ВСП електромагнітним полем вихрових струмів у матеріалі об'єкта контролю.

Вплив зазору (рис. 3, а) приводить до приблизно пропорційного зменшення внесених індуктивного і активного опорів, тоді як у випадку впливу поверхневого дефекту матеріалу об'єкта контролю перетворювача (тріщини) відповідно

зменшується індуктивний внесений опір, але практично не зменшується активний внесений опір. Це приводить до того, що при приблизно однакових впливах дефекту і зазору АЧХ контуру робочого ВСП відрізняються добротністю $Q = (1/r)\sqrt{L_k/C}$ [2].

Таким чином, добротність контуру на основі котушки ВСП у випадку зростання прозіву (АЧХ-4, рис. 3, б) має бути більшою за добротність цього ж контуру при взаємодії поля перетворювача з матеріалом об'єкта контролю у випадку присутності дефекту (тріщини). Існування різної добротності резонансного контуру ВСП при наявності дефекту чи зазору приводить до різного знаку приросту напруги на цьому контурі відносно значення U_0 на робочій частоті $\omega_{роб}$ (рис. 3, б). Поява дефекту приводить до зростання вихідної напруги контуру ВСП на величину ΔU_d , а відповідне зростання зазору, наприклад, за рахунок більшої товщини фарби, викликає зменшення вказаної напруги на величину $\Delta U_{пр}$.

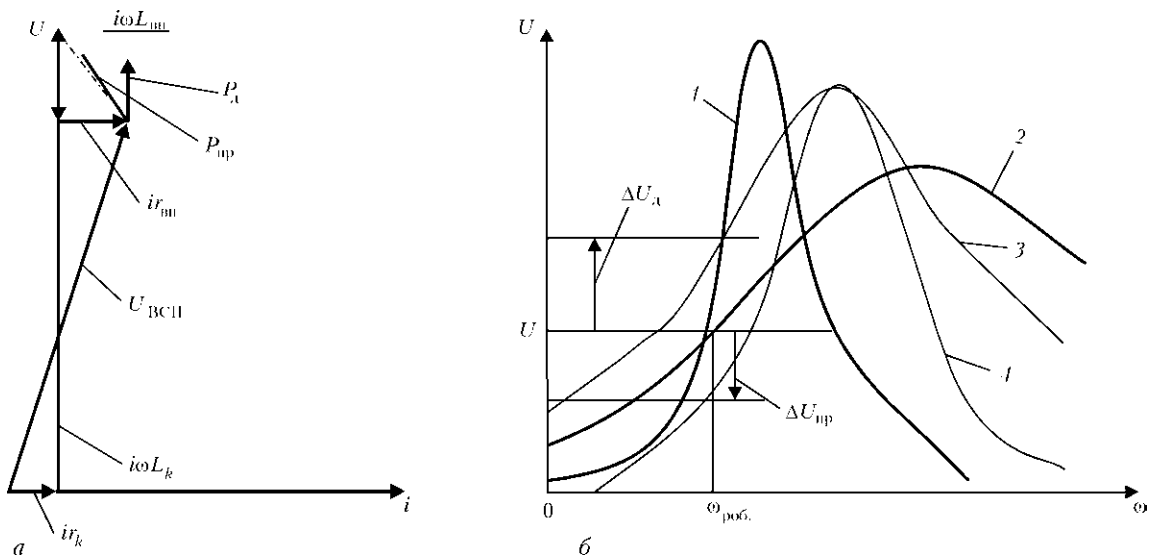


Рис. 3. Роздільний вплив дефекту контрольованого матеріалу (алюміній) та зазору між ВСП і об'єктом контролю: а — векторна діаграма струмів і напруг на елементах ВСП; б — амплітудно-частотні характеристики чотирьохполосників на основі резонансних контурів ВСП і ДКІ

Одновременна присутність дефекту і збільшеного зазору у зоні дії електромагнітного поля ВСП не виключає індикацію дефекту. Безумовно її чутливість зменшується у залежності від величини зазору. Як показали експериментальні дослідження, що виконувалися з перетворювачами (див. рис. 1) на частоті струму у котушці 1...2 МГц, дефекти у вигляді тріщин з глибиною до 0,2 мм та довжиною до 1 мм однозначно фіксуються навіть при існуванні зазору до 0,5 мм.

Підвищення чутливості вихрострумowego дефектоскопу виконуємо за допомогою диференційного підсилювача ДП (див. рис. 2). Попередньо напруги контурів з ВСП і допоміжною котушкою випрямляємо детекторами D_1 , D_2 з фільтрами нижніх частот Φ_1 , Φ_2 на їх виходах. Для виключення шунтування резонансних контурів на їх виходах встановлені повторювачі P_1 , P_2 на польових транзисторах.

Вихідний сигнал диференційного підсилювача подається на індикатор, який в залежності від знаку напруги фіксує наявність дефекту матеріалу або зростання зазору. Для визначення величини дефекту чи зазору вказана напруга вимірюється, перетворюється у цифровий код за допомогою АЦП та реєструється на цифровому табло ЦТ.

Висновки

Розроблена схема вихрострумowego дефектоскопу з використанням двох однакових резонансних контурів — одного на основі котушки індуктивності вимірювального ВСП, а іншого на основі допоміжної котушки індуктивності, відрізняється простою налаштування частоти задаючого генератора та роздільною індикацією за знаком вихідної напруги як поверхневого дефекту матеріалу об'єкта контролю, так і зазору між поверхнею цього матеріалу та вимірювальним перетворювачем. Висока чутливість дефектоскопу до поверхневих дефектів має місце завдяки ви-

користанню напівзамкнутого феритового магнітопроводу, що концентрує електромагнітний потік котушки вихрострумowego вимірювального перетворювача для збудження в об'єкті контролю вихрових струмів в зоні обмежених розмірів.

Конструкція феритового осердя ВСП розроблена з певним видовженням центрального стрижня, що дозволило виключити залежність результатів контролю від нахилу вісі котушки перетворювача в межах $\pm 30^\circ$ відносно нормалі до поверхні об'єкта контролю.

Приведены результаты разработки вихретокового высокочастотного (1 МГц) преобразователя и дефектоскопа на его основе, позволяющего раздельно в соответствии со знаком отклонения выходного напряжения контролировать наличие поверхностных трещин и зазора (толщины краски). Для раздельного контроля кроме катушки вихретокового преобразователя использована дополнительная аналогичная индуктивность, которая, как и вихретоковый преобразователь, включена в состав параллельного резонансного контура.

Частота задающего генератора выбирается из условия равенства напряжений на резонансных контурах при установке вихретокового преобразователя в рабочее положение на поверхности бездефектного участка объекта контроля. В этом случае наличие дефекта или изменению зазора будет соответствовать различный знак отклонения разностного напряжения на резонансных контурах.

Катушка измерительного вихретокового преобразователя помещена в ферритовый полуброневого сердечник со специально удлиненным центральным стержнем, что обеспечивает независимость результатов контроля от углового ($\pm 30^\circ$) положения преобразователя при выполнении контроля.

1. Герасимов В. Г., Покровский А. Д., Сухоруков В. В. Электромагнитный контроль / Под ред. В. В. Сухорукова. — М.: Высш. шк., 1992.—380 с.
2. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. Ч. 1. — М.: Изд-во, 1967.— 320 с.

Надійшла до редакції
10.02.2012

НОВА КНИГА



М.О. Карнаш, І.В. Рибіцький, Т.Т. Котурбаш, О.Г. Бондаренко, О.М. Карнаш.

Акустичний контроль конструкцій та устаткування у нафтогазовій галузі. Монографія. — Видавництво: ІФНТУНГ, 2012. — 420 с.

Книга присвячена вирішенню важливого науково-технічного завдання — удосконалення методів і засобів акустичного контролю об'єктів підвищеної небезпеки, якими є бурове та нафтогазове устаткування, безпосередньо в умовах експлуатації. У монографії наведено результати науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт зі створення нових способів і засобів контролю фактичного технічного стану бурового, нафтогазопромислового устаткування й інструменту, нафто-, газо-, продуктопроводів та інженерних мереж. Авторами роботи успішно вирішена важлива науково-технічна проблема нафтогазової галузі — суттєве зменшення аварій та відмов нафтогазового устаткування й інструменту шляхом розроблення, впровадження нових методів і засобів виявлення на ранній стадії розвитку різних дефектів експлуатаційного походження методами неруйнівного контролю, у першу чергу акустичного.

Призначена для науковців — фахівців у галузі технічної діагностики і контролю конструкцій та устаткування, аспірантів, магістрів, студентів технічних спеціальностей.