**Тетерко Анатолій Якович. Розробка методів і засобів селективної вихрострумової дефектоскопії : Дис... д-ра наук: 05.11.13 – 2002**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Тетерко А.Я. Розробка методів і засобів селективної вихрострумової дефектоскопії. – Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – прилади і методи контролю та визначення складу речовин.–Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. Івано-Франківськ, 2002.  Дисертацію присвячено питанням селективного вихрострумового (ВС) контролю та вимірювань заданих параметрів об'єкта контролю (ОК) із множини параметрів, що впливають на формування відгуку вихрострумового первинного перетворювача (ВСПП). В дисертації вироблено єдиний підхід щодо рішення науково-технічної проблеми багатопараметрової ВС дефектоскопії. На основі створення багатовимірних нелінійних, звичайно великої розмірності, моделей функції перетворення (ФП) системи ВСПП-ОК із заданою малою похибкою адекватності розроблено методи побудови моделі ФП як наближення функції багатьох змінних, поданої таблицею за даними обчислень прямих задач чи/та за експериментальними даними. Запропоновано нову, більш точну фізичну модель формування електромагнітного поля дефектів типу тріщин та наближену розрахункову модель поля поздовжніх дефектів. Розроблено нові методи відбору та перетворення первинної інформації, що забезпечують необхідну точність обробки відгуку ВСПП за моделлю ФП системи. Все це забезпечує створення нового покоління засобів селективного багатопараметрового ВС контролю та вимірювань з високими метрологічними характеристиками. Розроблено ряд спеціалізованих засобів селективного неруйнівного контролю розмірних параметрів, структуроскопії та дефектоскопії, зокрема, зварних швів і основного матеріалу конструкцій та окремих виробів, які впроваджено на підприємствах машинобудування. | |
| |  | | --- | | В дисертації на основі теоретичних і експериментальних досліджень дано *узагальнення і нове вирішення науково-технічної проблеми* багатопараметрового ВС контролю, що виявляється в селективному відборі інформації щодо заданих параметрів ОК із множини параметрів, що нелінійно та взаємозалежно впливають на формування відгуку ВСПП, яке грунтується на тому, що розроблено методи обробки багатовимірного відгуку ВСПП за нелінійними, великої розмірності моделями функції перетворення підсистеми ВСПП-ОК, побудованими за єдиним підходом, в основу якого покладено створення як вихідної нелінійної багатопараметрової моделі відгуку первинного перетворювача із заданою похибкою адекватності шляхом наближення функції багатьох змінних заданої таблицею за результатами обчислень та/чи експериментальними даними, які *забезпечують створення* засобів селективної ВС дефектоскопії одного, двох, трьох і більшого числа параметрів ОК при їх одночасній зміні та розробку нового покоління приладів з високими метрологічними характеристиками для вирішення актуальних задач НК і ТД.  В рамках розробки цього підходу одержано такі основні результати.  1. Визначено структуру узагальненої моделі системи ОК-ВСПП-ІВК селективного контролю та/чи вимірювань, яка відрізняється тим, що до її складу *введено нелінійну модель*, звичайно *високої розмірності*, ФП системи та комплекс спеціалізованих системних програмних засобів математичної обробки результатів вимірювань, що реалізує, зокрема, зворотнє відображення . Задача знаходження вектора *х* параметрів ОК, яке реалізує система, за постановкою задовольняє умовам коректності за Тихоновим А.М., так що похибка оцінки параметрів ОК прямує до "точного" значення , якщо за результатами вимірювань *yd*прямує до "точного" значення .  2. Запропоновано НЛБ модель відгуку ВСПП як наближення функції багатьох змінних вектора параметрів ОК. Модель відрізняється високою розмірністю (число членів становить *N* = 10...60 і більше), що залежить від числа параметрів і заданої похибки адекватності моделі. Розроблено методи побудови НЛБ моделі в заданій області зміни параметрів ОК, а саме:  загальний метод побудови НЛБ моделі шляхом наближенння багатовимірними алгебраїчними поліномами функцій *n* змінних, що задана таблицею на основі результатів обчислень розв'язків прямих задач чи/та даних фізичного та натурного експерименту;  метод декомпозиції задачі побудови НЛБ моделі, що включає побудову *n* одно-параметрових моделей відгуку ВСПП по параметрах та моделі складової, яка обумовлена взаємним впливом параметрів ОК;  метод побудови НЛБ моделі з залежними від параметрів ОК коефіцієнтами, що зводиться до побудови моделі для *n*змінних на основі моделей для (*n*–1) змінних.  Методи декомпозиції задачі побудови НЛБ моделі відгуку ВСПП та побудови НЛБ моделі зі змінними коефіцієнтами дозволяють зменшити розмірність матриці *Х* параметрів ОК, та залучити апарат наближення функції однієї змінної. Це забезпечує побудову НЛБ моделей високої розмірності, похибка яких не перевищує десятих долей відсотка та менше.  3. Розроблено методи обробки багатовимірного відгуку ВСПП на основі моделей ФП підсистеми ВСПП-ОК двох класів, що побудовані за єдиним підходом методами наближення функції багатьох змінних для НЛБ моделі відгуку ВСПП:  – моделі підсистеми у базисі параметрів ОК, яку зображено системою нелінійних рівнянь і являє собою модель прямої ФП;  – нелінійної моделі підсистеми у базисі інформативних параметрів відгуку ВСПП, яка являє собою модель зворотної ФП;  а також складеної моделі із залежними від параметрів ОК коефіцієнтами.  Запропоновано методи нелінійної трансформації моделі, декомпозиції та адаптації, що забезпечують побудову моделей підсистеми ВСПП-ОК із заданою похибкою адекватності. На прикладі задач, прийнятих як тестові, показано що похибка оцінки вектора параметрів ОК за результатами обробки багатовимірного відгуку ВСПП відповідає, як відмічено вище, похибці вимірювань його складових і може становити десяті долі відсотка та менше.  4. Для досліджень задач контролю дефектів типу тріщини запропоновано нову фізичну модель формування АП, в яку *введено неоднорідну область ЗПД матеріалу в околі тріщини*. Електрофізичні параметри в ЗПД залежать від матеріалу, виду та характеру дії деформаціій під час утворення тріщини, а її розміри на 2-3 порядки можуть перевищувати ширину (розкриття) тріщини. Модель обгрунтовує значну розбіжність результатів ВС контролю реальних тріщин на реальних ОК. Розроблено нові *розрахункові моделі*, які в задачах ВС дефектоскопії вводяться вперше, а саме:  модель поздовжнього дефекту в електропровідному півпросторі, АП якого апроксимоване суперпозицією полів елементарних циліндричних включень по області дефекту при *Е*-поляризованому первинному ЕМП;  модель ОК з поздовжнім дефектом, що зображена багатошаровою циліндричною структурою з границями довільної форми в *Е*-поляризованому ЕМП, яка узагальнює модель багатошарової кругової циліндричної структури ОК на структури з дефектами.  Показано на основі принципу взаємності щодо лінійної системи "*випромінювач-об'єкт* *контролю-приймач*", що результати, одержані при *Е*-поляризованому первинному ЕМП, поширюються щодо іншої структури первинного ЕМП, створеного цією ж системою, приміром, – аксіального. Це узагальнення принципово розвиває підхід до постановки задач ВС дефектоскопії, зокрема, тривимірна задача може бути сформульована як двовимірна.  5. В рамках розробки розрахункової моделі побудовано загальні розв'язки задач щодо АП кругового циліндричного включення в електропровідному півпросторі та багатошарової циліндричної структури з границями довільної форми. У строгій постановці дано ефективний розв'язок задачі для поля кругового циліндричного включення, зануреного в електропровідному півпросторі при однорідному первинному ЕМП в залежності від радіуса *а*, глибини залягання *h*, та відстані (*r*,*j*) включення *до точки спостереження у свобідному* *півпросторі* (зазора). Роз'вязок в цілому відрізняється компактністю, не потребує спеціальних програмних засобів і забезпечує обчислення в реальному часі.  Запропоновано за порівнянням результатів обчислень АП поздовжніх дефектів як базову в задачах моделювання розрахункову модель, що являє собою суперпозицію полів елементарних циліндричних включень із довільним значенням ПЕП. Похибка за рівнем АП для підповерхневого кругового циліндричного включення в порівнянні зі строгим розв'язком не перевищує (1-3)% і зменшується при зростанні глибини залягання включення.  6. Вироблено нові підходи щодо формування та відбору первинної інформації, які базуються на застосуванні принципу взаємності та енергетичного критерію при побудові ВСПП. Показано еквівалентність просторової структури відгуку в околі дефекту при прямому та інверсному включенні ВСПП, яке характеризується, зокрема, зміною структури первинного ЕМП. Вироблений підхід розвиває принципи побудови структур ВСПП, а також постановку задач ВС дефектоскопії в цілому.  7. Розроблено нові методи формування інформативних параметрів відгуку ВСПП на основі векторних перетворень первинного сигналу, а саме: узагальнений фазовий метод підвищення чутливості контролю ПЕП, товщини оболонок і покриття; амплітудний метод відображення квадратурних складових відгуку ВСПП; метод формування особливих точок при багаточастотному та імпульсному збудженні ВСПП із відбором інформації за миттєвим значенням відгуку.  Узагальнений фазовий метод забезпечує підвищення чутливості у 5-10 разів порівняно з відомими. Дано точні формули та корекцію похибки у відомих формулах для КС на основі суморізницевих перетворень вимірюваного та опорного сигналів, що забезпечує обробку сигналу в реальному часі в скануючих засобах ВС дефектоскопії та дефектометрії та підвищення точності вимірювань, зокрема, у високочастотних системах ВС контролю. На основі НЛБ моделі рокрито механізм утворення особливих точок по параметрах ОК у відгуку ВСПП при імпульсному збудженні та умови їх формування при багаточастотному збудженні. Показано, що глибина компенсації впливу параметра у "вузловій" точці обмежена принципово. Врахування єдиного механізму відображення формування відгуку ВСПП в часовій або частотній області при багаточастотному та імпульсному збудженні дозволяє обгрунтувати підходи щодо вибору способу збудження ВСПП, відбору та обробки багатовимірного сигналу ВСПП.  8. Сформульовано основні положення щодо розробки приладів та систем багато-параметрового селективного ВС контролю й вимірювань на основі методів глобальної обробки сигналу ВСПП за багатовимірними нелінійними, високої розмірності, моделями ФП системи ВСПП-ОК, а також розроблених нових підходів й методів формування багатовимірного відгуку ВСПП, підвищення точності методів векторного, частотного та дискретного перетворення первинної інформації. Розроблені методи *забезпечують створення нового покоління* засобів селективного ВС контролю та вимірювавнь.  9. Розроблено ряд приладів та їх модифікацій спеціального і загального призначення для дефектоскопії, структуроскопії та контролю розмірних параметрів, що працюють автономно, а також у складі систем під управлінням ЕОМ і відрізняються високою чутливістю та селективністю. Розроблені засоби широко впроваджено у виробництво, зокрема, для забезпечення таких актуальних задач НК і ТД: контролю дефектів і ширини зони термічного впливу зварних швів на основі термозміцнюваних алюмінійових сплавів великогабаритних конструкцій; контролю дефектів основного матеріалу та зварних швів особливотонкостінних трубчатих виробів і трубних заготовок на основі нержавіючих сталей; контролю проміжку між оболонками в нерозбірних конструкціях та великогабаритних конструкціях під зборку; контролю тріщин і корозійного пошкодження під оболонкою в нерозбірних великогабаритних конструкціях й під шаром герметику та ін.  10. Результати розробки методів селективного контролю рекомендуються як апарат аналізу та синтезу щодо створення приладів і систем ВС багатопараметрового селективного контролю й вимірювань в задачах дефектометрії, структуроскопії та вимірювань розмірних параметрів ОК з новими можливостями та високими метрологічними характеристиками, спрямованих на вирішення актуальних науково-технічних задач інженерії поверхонь, НК і ТД матеріалів, виробів та елементів конструкцій в енергетиці, авіакосмічній галузі, машинобудуванні та ін., а також узагальнення теорії методів ВС контролю з єдиних позицій селективного контролю множини параметрів ОК, що змінюються одночасно. Новизна й ефективність підходу та методів, що розроблені, забезпечує пріоритет у створенні нового покоління засобів і технологій ВС контролю й вимірювань. | |