

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

БЕРНИК

Зіновій Андрійович

**РОЗРОБКА ВИХРОСТРУМОВОГО КОНТРОЛЮ
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПОСУДИН ТИСКУ**

Спеціальність 05.02.11 — Методи контролю і діагностика в машинобудуванні

АВТОРЕФЕРАТ

**дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Київ — 1994

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00778967 (1)

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

УДК 620.179.14:620.196.2:621.791.062

БЕРНИК
ВІНОВІЙ АНДРІЙОВИЧ

РОЗРОБКА ВИХРОСТРУМОВОГО КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ
ПОСУДИН ТИСКУ

Спеціальність 05.02.11 - Методи контролю і діагностика
в машинобудуванні

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ - 1994

Дисертація є рукопис

Робота виконана в Київському політехнічному інституті

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
БІЛОЖУР І.П.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
ШАРОВА О.М.

кандидат технічних наук, доцент
ДЕМІДКО В.Г.

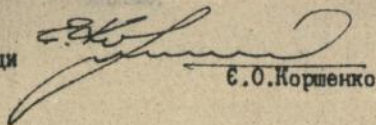
Провідна установа: Івано-Франківський науково-технічний центр
"ПРОМТЕХДІАГНОСТИКА"

Захист відбудеться "14" березня 1994 р., на засіданні спеціалізованої вченої ради К 068.14.13 Київського політехнічного інституту, 252056, м.Київ-56, просп.Перемоги, 37, КПІ-ІІІ.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського політехнічного інституту.

Автореферат розісланий "4" 02 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
к.т.н., професор


С.О.Коршенко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми. Вирішення задачі визначення технічного стану посудин тиску напротязі циклу їх функціонування нерозривно зв'язано з використанням фізичних методів неруйнівного контролю матеріалів і виробів. Без ефективного застосування неруйнівних методів дефектоскопії неможливе визначення таких показників технічного стану як МКК, механічних напружень, дефектності зварних з'єднань місткісної апаратури хімічного виробництва. Для оцінки параметрів дефектів в поверхневих шарах немагнітних металів перспективне використання вихрострумів методів, які відрізняються високою продуктивністю, безконтактністю і простотою в автоматизації.

Сучасні технічні засоби вихрострумів контролю характеризуються високою чутливістю до поверхневих дефектів та дефектів, розташованих на глибині проникнення вихрових струмів. Впровадження системи моніторингу посудин і апаратів з немагнітних металів і сплавів в хімічному виробництві пов'язане з забезпеченням ефективного контролю і оцінки параметрів дефектів технологічного та корозійного походження, а також дефектів від втомленості на початковій стадії. При цьому важливо також забезпечити оцінку і контроль їх зміни в процесі експлуатації.

Робота виконана згідно державної науково-технічної програми "Технічна діагностика і неруйнівний контроль" і є складовою частиною НДР "Створення дільниці високопродуктивного неруйнівного контролю зварних з'єднань посудин, які працюють під тиском", ДР №І880022432.

Мета роботи. Підвищення ефективності визначення параметрів міжкристалітної корозії, дефектів, напружено-деформованого стану зварних швів та металу посудин тиску із сталей аустенітного та аустенітно-феритного класів, титанових сплавів.

Методика досліджень. Теоретична частина роботи заснована на використанні крайових задач математичної фізики поширення плоскої електромагнітної хвилі в плоскошаруватих середовищах та на розрахунковій двошаровій моделі електропровідного середовища з міжкристалітною корозією. Числовими методами за допомогою ЕОМ проведено розрахунки електромагнітного поля шару з МКК в діапазоні підвищених частот $10^6 - 10^8$ Гц/.

Експериментальна частина заключалась в дослідженні параметрів виявлених дефектів, типу несущільностей, механічних напружень і параметрів МКК за допомогою розроблених технічних засобів вихрострумowego контролю. Достовірність наукових результатів забезпечувалась використанням оригінальних методик і пристроїв. Експериментальні дані обробляли із застосуванням методів математичної статистики, багаторазово повторювали, зрівнювали з результатами вразкових методів контролю і опублікованими в літературі.

Наукова новизна. Здійснено узагальнення закономірностей формування електромагнітного поля, збудженого плоскою електромагнітною хвилею, в плоскім шарі електропровідного немагнітного напівпростору, ураженого міжкристалічною корозією.

Досліджені основні закономірності електромагнітного поля шару з МКК і на цій основі вирішені задачі прогнозування і кількісної оцінки ступеня ураження цієї корозією стінок посудин тиску із сталей аустенітного та аустенітно-феритного класів.

Вирішена проблема створення і широкого впровадження вихрострумowego контролю для задач прогнозування і діагностування тонкостінного місткісного обладнання. Це у великій мірі сприяло підвищенню об'єктивності та інформативності вихрострумowego контролю, і в кінцевому результаті розширення діапазону застосування цього методу контролю для системи моніторингу вказаних об'єктів.

Практична цінність і реалізація результатів роботи. Отримані в роботі результати використані при розробці методик і засобів вихрострумowego методу виявлення і оцінки МКК, дефектів зварних швів, визначення механічних напружень, та циклічної довговічності тонкостінних посудин тиску із немагнітних сталей і сплавів. Запропоновані і надійно обгрунтовані висновки результатів контролю представляють науковий і практичний інтерес. Вони дозволили оптимізувати технологію виготовлення сферичних днищ посудин тиску, замінивши фланкування і високотемпературний відпал обкатуванням роликком.

Результати виконаних інженерних і технологічних досліджень використані при розробці:

- вихрострумowego структуроскопу "АЛЬФА-МКК" та "СИГМА-Ц", які забезпечують виявлення та кількісну оцінку МКК, а також визначення залишкових механічних напружень стінок посудин тиску із

немагнітних металів;

- методики вихрострумового контролю МНК із застосуванням не більше 2 робочих зразків;
- методики вихрострумового контролю якості зварних швів тонкостінних посудин і апаратів із немагнітних металів;
- методики оцінки довговічності посудин тиску при малоциклових навантаженнях за результатами НК.

Розроблені методики вихрострумового контролю МНК і випробовані експериментальні зразки вихрострумових структуроскопів впроваджені у виробничих і лабораторних умовах на Роздольському державному гірничо-хімічному підприємстві "Сірка", Роздольському дослідно-механічному заводі "Карпати". Методика вихрострумового контролю якості зварних швів тонкостінних посудин тиску впроваджена на Калушському концерні "Хлорвініл", а методика вихрострумового контролю механічних параметрів металу посудин тиску - на Львівському ВО "Полярон". Рекомендації по заміні фланжування і високотемпературного відпалу обкатуванням роликком в процесі виготовлення сферичних днищ реалізована на Костромському заводі фарбувально-оздоблювального устаткування.

Обґрунтована і доведена можливість ефективного застосування вихрострумового методу при корозійних дослідженнях і стандартних випробуваннях на схильність до МНК, для оцінки міцності та контролю якості зварних швів посудин тиску із нержавіючих хромонікелевих сталей і титанових сплавів.

На захист виносяться такі основні положення роботи:

- науково-обґрунтований принцип вихрострумового контролю початкового та значного ступеня міжкристалітного ураження зварних швів і металу посудин тиску, ні підвищених частотах первинного поля;
- кореляційно-регресійна залежність питомої електричної провідності від механічного напруження в поверхневих шарах немагнітних металів та сплавів; яка дозволяє прогнозувати граничний стан посудин тиску;
- методологія системи моніторингу посудин тиску хімічних виробництв;
- рекомендації по використанню визначення параметрів тріщини від теми за результатами НК в задачах прогнозування довговічності посудин тиску в умовах малоциклового навантаження, що базуються

на принципах мелінійної механіки руйнування.

Апробація роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались: на П-й національній конференції по діагностиці машин і споруд та неруйнівних методів контролю матеріалів, Варна, 1990р., на ІV республіканській науково-технічній конференції по підвищенню надійності і довговічності машин і споруд, Одеса, 1991., на У-й міжвузівській науково-технічній конференції по сучасних методах і засобах електромагнітного контролю, Могилів, 1992р., на міжнародному семінарі про роль неруйнівного контролю в задачах сертифікації продукції і безпечної експлуатації обладнання, Київ, 1993р., на науковій конференції країн СНД по виробництву і надійності зварних конструкцій, Москва, 1993р., на 6-й науково-технічних семінарах, які проводились ФБЕНП по лінії товариства "Знання" України, Славське, 1987-1992рр.

Публікації. По результатах виконаної роботи опубліковано 14 робіт.

Об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, вміщує 207 сторінок машинописного тексту, 51 рисунок, 15 таблиць, список літератури із 188 назв та додатки.

ЗМІСТ РОБОТИ

В першому розділі проведений аналіз деяких підходів до проблеми оцінки напружено-деформованого стану, міжкристалітного корозійного ураження та дефектності металу посудин тиску за результатами неруйнівного контролю. Підкреслюється, що складність виявлення і оцінки цих параметрів діагностування посудин викликала необхідність розробки і застосування спеціальних методів, в тому числі і вихрострумового методу контролю, які дають можливість виявляти і кількісно оцінювати дефекти металу виробів на стадії їх виникнення без руйнування. Вказується, що із розглянутих методів одним із найбільш перспективних являється вихрострумовий метод контролю.

Разом з тим робиться висновок про недостатнє теоретичне дослідження та практичне застосування вихрострумового контролю МКК, валівкових напружень та дефектометрії у виробках із нержавіючих хромонікелевих сталей і немагнітних сплавів за допомогою накладного перетворювача в області підвищених частот.

На основі висновків сформульовані основні задачі дисертації: дослідження взаємодії електромагнітного поля в електропровідним шаром, ураженим МНК, в залежності від складових поля шару, його глибини, питомої електричної провідності та частоти первинного поля; розробка науково-обґрунтованих методик контролю; розширення області застосування вихрострумового методу контролю для задач моніторингу.

В другому розділі проведені дослідження впливу властивостей матеріалу контрольованого виробу на формування структури електромагнітного поля відбитої плоскої електромагнітної хвилі.

Міжкристалітна корозія нержавіючих сталей викликає зміну питомої електричної провідності металу. Для оцінки електрофізичних властивостей металу з міжкристалітним ураженням та вибору способу вимірювання глибини корозії d , запропонована розрахунково-теоретична модель. В моделі первинне електромагнітне поле плоскої електромагнітної хвилі взаємодіє з електропровідним матеріалом, ураженим МНК. Матеріал представляється у вигляді двошарового середовища "шар уражений МНК - металічна основа" з різними значеннями глибини шарів d_1 і питомою електричною провідністю σ_1 . Для описання фізичної системи взаємодії плоскої електромагнітної хвилі з багатошаровим середовищем з паралельними шарами прийняті стаціонарні математичні залежності у вигляді диференціальних рівнянь в частинних похідних.

Вихідними при розв'язанні цієї задачі були неоднорідне диференціальне рівняння Гельмгольца для вільного простору та граничні умови для електричної складової поля в циліндричній системі координат. Припускалось, що питомі електричні провідності σ_1 та магнітні проникності μ_1 матеріалів шарів є величинами постійними, а частота первинного поля $f = 10^6 - 10^8$ Гц. Поле плоскої хвилі в кожному з шарів плоскошаруватого середовища описується рівнянням для електричної складової:

$$E_x = \exp(i\lambda y) \{ C_1' \exp(\mu_1 z) + C_2' \exp(-\mu_1 z) \},$$

де $\mu_1 = (\lambda^2 - k_1^2)^{1/2}$, λ - довільне число, k_1 - хвильове число плоскої хвилі в шарі, C_1' - коефіцієнти, які характеризують падаючу та відбиту хвилі.

Для знаходження числових значень векторів поля в будь-якому

з шарів використано поняття еквівалентного вхідного імпедансу Z_{in} . При цьому плоскошарувате середовище замінюється еквівалентним півпростором і обчислення ведуться за рекурентними співвідношеннями. Такі співвідношення є зручними для створення алгоритму розрахунків на ЕОМ електромагнітного поля в шарі з МКК.

Отримані та проаналізовані функціональні залежності між параметрами поля та геометричними і електрофізичними характеристиками досліджуваного шару сталей аустенітного та аустенітноферитного класів дозволили зробити наступні висновки: магнітна складова поля практично не реагує на наявність шару з МКК; чутливість вихрострумowego контролю до глибини МКК росте з ростом частоти, але при цьому зменшується діапазон контрольованих глибин; кращу чутливість дає фазовий спосіб контролю, який водночас слабше реагує на зміну питомої електричної провідності; контроль початкових стадій МКК на підвищених частотах ефективніший для аустенітно-феритних сталей; контроль початкових та значних стадій ураження МКК на підвищених частотах ефективний для сталей аустенітного класу. /рис. I/. Проведені дослідження положені в основу розробки методики вихрострумowego контролю виробів, уражених МКК.

Експериментальні дослідження залежності питомої електричної провідності від механічних напружень немагнітних металів проводили на зразках одночасно з механічними випробуваннями. Питому електричну провідність досліджуваного металу визначали шляхом порівняння з питомими електричними провідностями стандартних зразків за допомогою розробленого вихрострумowego структуроскопу "СІГМА-Ц" на робочій частоті 400 МГц. Похибка вимірювання питомої електричної провідності не перевищувала $\pm 2\%$.

Сформовані інформаційні масиви для титанового сплаву ВТ1-0 та аустенітної сталі ІОХ17НІЗМ2Т. Загальне число вимірювань на зразках для кожного досліджуваного матеріалу склало 2500, чим забезпечена висока точність оцінки досліджуваної величини, а для її обчислення - використання квантиля функції Лапласа.

По кожній частині інформаційного масиву визначені основні статистики і установлений кореляційно-регресійний зв'язок між досліджуваними величинами, використовуючи метод найменших квадратів. Результати обчислення основних статистик та рівняння регресії представлені в таблиці:

Матеріал	r_{xy}	S_{xy}	Рівняння регресії
Титановий сплав ВТІ-0	0,698	2,82	$\gamma = 1,82 - 0,0013 \sigma_{\text{св}}$
Сталь ІОХІ7НІЗМТ	0,671	2,96	$\gamma = 1,20 - 0,0011 \sigma_{\text{св}}$

r_{xy} - коефіцієнт кореляції, S_{xy} - середньоквадратичне відхилення. Точність їх оцінки становить відповідно 0,18 і 0,32. Надійність оцінок - 0,95. Коефіцієнт варіації питомої електричної провідності - 4%.

Отримані результати устанавлюють добрий кореляційний зв'язок між напруженнями $\sigma_{\text{св}}$ і питомою електричною провідністю γ немагнітних металів при вихрострумовому методі контролю на підвищених частотах /рис.2/. Ці результати узгоджуються з теоретичними передумовами і результатами експериментальних досліджень вихрострумовим методом на традиційних частотах, з яких слідує, що розтягуючі зусилля ведуть до зменшення питомої електричної провідності немагнітних металів. Такий висновок дозволяє перейти до рішення задачі прогнозування граничного стану матеріалів за сигналами контролю, а згодом - і до прогнозування граничного стану конструкції.

Установлена достовірність вихрострумового контролю якості стикових зварних з'єднань тонкостінних посудин тиску із немагнітних металів.

Оцінка достовірності вихрострумового контролю таких об'єктів проводилась за точковою моделлю та альтернативною ознакою з використанням матриць достовірності. Результати контролю досліджуваним методом зрівнювали з результатами зразкового методу. В якості останнього використані метод радіографії, а в певних випадках для отримання повної дефектоскопічної інформації - кольорова дефектоскопія.

Об'єктами дослідження були зварні шви натурних посудин тиску із немагнітних аустенітних сталей, титанових сплавів товщиною стінки 1-5 мм. Питома електрична провідність матеріалу 1,20-1,84 МСм/м.

В металі зварних швів вміст α - фази складав 3-5%. Відносна магнітна проникність практично була рівна одиниці. Шорсткість поверхні в зоні зварного шва була не гірше $R_a = 20 \mu\text{м}$. Висота валика зварного шва не більше 0,5мм. Для дослідження використову-

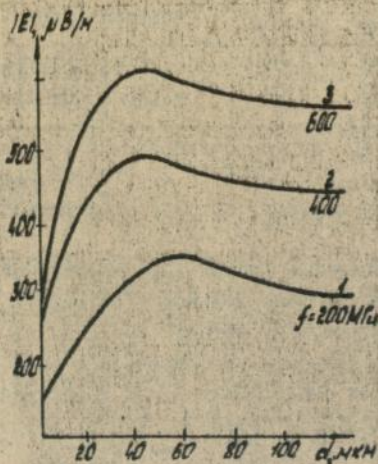


Рис. 1. Залежність амплітуди електричної складової плоскої електромагнітної хвилі від глибини МНД аустенітних сталей.

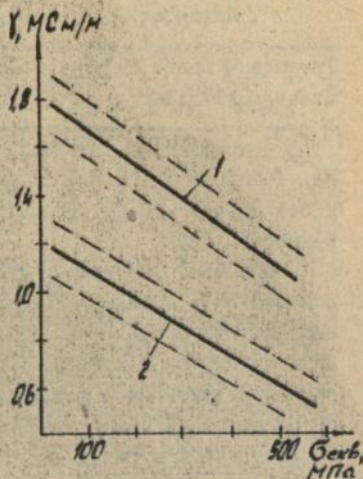


Рис. 2. Кореляційна залежність питомої електричної провідності від механічного напруження для титанового сплаву ВТІ-0.1/А і сталі 10Х17Н13М2 [2].

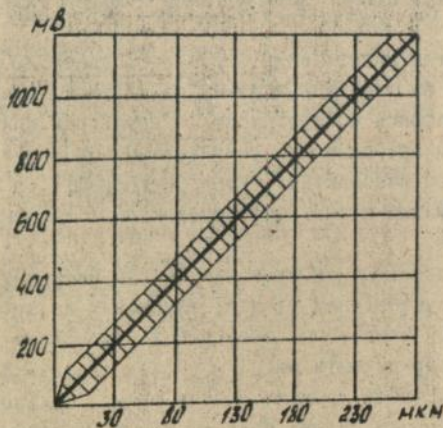


Рис. 3. Градувальна крива вихрострумowego структуроскопу "СІГМА-Ц" для вимірювання глибини МНД в сталях аустенітного класу.

вали вихрострумний дектоскоп "ПОДЕТ" та вихрострумний перетворювач з диференціальним розміщенням обмоток. Зменшення віддалі між вимірвальними обмотками до 6-8мм суттєво послаблювали вплив неоднорідності питомої електричної провідності та магнітної проникності в зоні зварного шва. Для додаткового зменшення перешкоджучих факторів в експериментах використовували амплітудно-фазовий спосіб виділення інформації.

Калібрування дефектоскопу проводили на комбінованих контрольних зразках на робочій частоті 1,0 МГц.

В результаті аналізу та співставлення даних вихрострумного контролю, радіографії стикових зварних швів сумарною довжиною 1670 мм, отримані експериментальні матриці достовірності при виявленні дефектів типу непровар, пор і шлакових включень. З використанням положень математичної статистики розрахована достовірність досліджуваного методу контролю. Вона становить при виявленні непроварів 0,886, шлакових включень - 0,824, пор - 0,794.

Установлена кореляційно-регресійна залежність між глибиною непровару зварних швів та амплітудою сигналу вихрострумного перетворювача, з якої слідує, що із збільшенням глибини непровару збільшується амплітуда вихідної напруги вимірвальної обмотки перетворювача.

З проведених досліджень і отриманих результатів слідує, що вихрострумний контроль більш чутливий і інформативний при виявленні протяжних дефектів типу непровар.

Мінімальна ширина розкриття виявлених дефектів складає 0,1мм, глибина 2мм. Мінімальний діаметр пор /розмір шлакового включення/ 0,2мм при глибині залегання не більше 3мм.

Таким чином, проведені дослідження і отримані результати стали основою для розробки методики вихрострумного контролю якості зварних швів посудин тиску із немагнітних металів, товщиною стінки до 5мм. Вони підтвердили його конкурентну здатність з радіографією та кольоровою дефектоскопією.

В третьому розділі представлені основи розроблених методик та технічні засоби вихрострумного контролю основних параметрів діагностування.

Розроблена методика прогнозування наявності МСК та вимірювання її глибини вихрострумними структуроскопами "АЛЬФА-МСК" і

"СИГМА-Ц" без відстроювання від неконтрольованих параметрів для нержавіючих хромонікелевих сталей аустенітного та аустенітно-феритного класів. Вона забезпечує вимірювання глибини МДК в сталях аустенітного класу в діапазоні від 0 до 250 мкм, а аустенітно-феритного класу в діапазоні від 0 до 60 мкм на частоті 400 МГц на виробках з товщиною стінки 2-30 мм. Похибка вимірювання корозії при цьому не перевищує $\pm 5\%$ від верхньої границі градувальної кривої /рис.3/.

За допомогою розробленого вихрострумowego структуроскопу "СИГМА-Ц" також реалізована методика оцінки граничного стану посудин тиску. Прилад використаний як вимірювач питомої електричної провідності немагнітних сталей і сплавів на частоті 400 МГц.

Для прогнозування механічних напружень металу посудин використовують кореляційно-регресійні залежності /рис.2, табл./ між питомою електричною провідністю γ і еквівалентним напруженням $\sigma_{екв}$ при двовісному напруженому стані. При цьому необхідно врахувати значення питомої електричної провідності матеріалу виробів до початку експлуатації.

Методика вихрострумowego контролю якості зварних швів посудин тиску виготовлених з немагнітних сталей та сплавів з питомою електричною провідністю 0,5-37 МСм/м. В якості технічного засобу використаний електромагнітний дефектоскоп "ПОЛЕТ". Робоча частота контролю 1-5 кГц.

Для калібрування дефектоскопу по нормативно-допустимому дефекту розроблений комбінований еталонний зразок, приводиться схема сканування вихрострумowym перетворювачем в процесі контролю.

Методика прогнозування довговічності посудини за результатами неруйнівного контролю. Використовуючи параметри тріщини якості, побудована номограма кореляції параметрів тріщини втомі з довговічністю посудини в умовах малоциклового навантаження та амплітудою деякого сигналу ультразвукового контролю.

Методика оцінки концентрації напружень біля дефектів за результатами вихрострумowego контролю. Вона заснована на побудованій номограмі, яка відображає взаємозв'язок між коефіцієнтом концентрації напружень, параметром форми дефекту та сигналами вихрострумовой дефектоскопії.

В четвертому розділі розроблена методологія регламенту авто-

матризованої системи дворівневого моніторингу посудин тиску, що заснована на результатах тестового діагностування на стадії виготовлення та експлуатації, формалізованій чотирьохрівневій моделі об'єкту з урахуванням функціональних зв'язків між конструктивними частинами посудини у вигляді "посудина-модуль-вузол-елемент". Виділені чотири параметри діагностування та 18 підпараметрів, які визначаються засобами діагностування і утворюють базову матрицю. Оцінка технічного стану об'єкту проводиться за ознаками цієї базової матриці та побудованим алгоритмом системи. Оскільки ознаки базової матриці утворюють статистичну сукупність, то для обчислення комплексного показника технічного стану посудини використані елементи варіаційної статистики. Розроблена система моніторингу дозволяє проводити оцінку технічного стану посудини за параметрами тріщиностійкості, дефектності, міцності, порушення геометричної форми та корозійної стійкості матеріалу елементів посудини та сигналами одного або комплексу методів неруйнівного контролю.

Забезпечення високої достовірності і точності контрольних операцій досягається за рахунок калібрування технічних засобів контролю на стандартних зразках, які створені з використанням статистичних підходів та групових мір.

В додатках дані акти впровадження розробок, розрахункові таблиці та пакет програм.

Основні результати роботи.

1. Розроблена розрахунково-теоретична модель дозволила визначити вплив міжкристалітного ураження на величину електромагнітного поля плоскої електромагнітної хвилі реального фізичного перетворювача в області підвищених частот.

2. Отримані аналітичні та графічні залежності, які зв'язують глибину МДІ з параметрами електромагнітного поля та частотою вихрострумовевого контролю, які лягли в основу рекомендацій по вибору оптимальної частоти контролю початкової та значної стадії ураження аустенітних та аустенітно-феритних сталей та її кількісної оцінки.

3. Експериментально встановлена кореляційна залежність питомої електричної провідності від механічних напружень за допомогою вихрострумовевого методу на підвищених частотах. Цим підтверджуємо

теоретичні передумови про зменшення питомої електричної провідності немагнітних металів та сплавів при збільшенні механічних напружень. Дані практичні та методичні рекомендації по використанню цієї залежності для прогнозування граничного стану посудин тиску за результатами вихрострумowego контролю.

4. Проведені експериментальні дослідження підтвердили адекватність розроблених розрахунково-теоретичних моделей процесам, які реально протікають при цьому. Коефіцієнт варіації питомої електричної провідності складає 4%.

5. Розширена область застосування вихрострумowego контролю для задач дефектоскопії та дефектометрії зварних швів тонкостінних посудин тиску із немагнітних металів і сплавів, експериментально встановлена достовірність цього методу контролю якості зварних швів. Встановлено, що достовірність контролю досягає 88,6% при ідентифікації непроварів. Доведена конкурентна здатність вихрострумowego контролю з радіографією та капілярною дефектоскопією.

6. На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблені методики кількісної оцінки глибини МКК вихрострумовим методом в амплітудному режимі на сталях аустенітного та аустенітно-феритного класів з використанням для побудови градуовальної кривої та настроювання вихрострумових структуроскопів на більше 2-ох контрольних зразків.

7. Розроблені експериментальні зразки вихрострумових структуроскопів "АЛЬФА-МКК" і "СИГМА-Ц" забезпечують раціональні методики визначення МКК, граничного стану посудин тиску і ефективно використовуються в системі моніторингу таких об'єктів.

8. Створена принципіально нова методика оцінки довговічності посудин тиску в умовах малоциклового навантаження, яка раціонально базується на використанні апарату нелінійної механіки руйнування та результатів неруйнівного контролю параметрів тріщин втомленості.

9. Розроблена дворівнева система моніторингу посудин тиску хімічних виробництва з використанням комплексного неруйнівного контролю, що забезпечує надійність їх роботи.

10. Здійснено промислові впровадження розроблених методик вихрострумowego контролю МКК, механічних напружень, дефектності зварних швів та металу посудин тиску, на базі експериментальних зразків приладів "АЛЬФА-МКК", "СИГМА-Ц" у виробничих та лабораторних

умовах на п'ятьох хімічних державних підприємствах. Вони забезпечили отримання інформації кількісних характеристик виявлених дефектів і підвищили достовірність результатів контролю за рахунок високої чутливості технічних засобів.

II. Ефективність вихрострумового методу досягнута збільшенням інформативності контролю. Впровадження результатів дисертаційної роботи дало в 1991-1993 р.р. сумарний економічний ефект в 3 млн. 707 тис. крб. Соціальний та науково-технічний ефект проведеної роботи досягнутий підвищенням працездатності місткісного обладнання хімічних підприємств.

Основні положення дисертації опубліковані в наступних роботах:

1. Белокур И.П., Берник З.А. Принципы автоматизированной обработки данных неразрушающего контроля сварных соединений. - В кн.: Автоматизация методов неразрушающего контроля качества сварных соединений. - Киев. - 1991. - С. 10-11.

2. Белокур И.П., Берник З.А. Прогнозирование концентрации напряжений в вершинах дефектов по результатам дефектоскопии сварных соединений. - В кн.: Диагностика на машини і з'єднання і безразрушительни методи за контрол на материалите. - Варна. - 1990. - Том. II. - С. 27-32.

3. Белокур И.П., Берник З.А. Прогнозирование долговечности сосудов давления по результатам неразрушающего контроля. - В кн.: Производство и надежность сварных конструкций. - Москва. - 1993. - С. 106.

4. Белокур И.П., Берник З.А. Тестовое диагностирование сварных металлических сосудов //Техническая диагностика и неразрушающий контроль. - 1992. - №4 - С. 70-79.

5. Белокур И.П., Берник З.А. Элементы тестового диагностирования теплоэнергетического оборудования //Энергетик. - 1993. - №11, - С. 21-23.

6. Берник З.А., Белокур И.П., Ладницкий Б.М., Учинин В.Н. Дефектоскопия при техническом диагностировании автомобилей. - К.: ИЭС АН Украины. - 1993. - 144с.

7. Берник З.А., Белокур И.П., Учинин В.Н., Владыкин В.А. Прогнозирование надежности сосудов давления по результатам вихретокового контроля. - В кн.: Автоматизация методов неразру-

шающего контроля. - Киев. - 1992. - С.38-39.

8. Берник З.А., Белокур И.П., Учанин В.Н. Оценка достоверности вихретокового контроля химической аппаратуры. - В кн.: Современные методы и средства электромагнитного контроля и эффективность их применения. - Могилев. - 1992. - С.41.

9. Берник З.А., Колодий В.И., Учанин В.Н., Орловский А.А. Особенности вихретокового контроля стыковых сварных соединений емкостей химического оборудования из аустенитных сталей //Физ. хим. механика материалов. - 1989. - №. - С.113-115.

10. Берник З.А., Костырко С.А. Опыт применения неразрушающего контроля на Роздольском ремонтно-механическом заводе горно-химических предприятий. - В сб.: Проблемы технологии производства серы. - М.: НИИТЭХИМ. - 1987. - С.94-100.

11. Берник З.А., Учанин В.М., Белокур И.П. Вихреструмовий контроль механічних характеристик металу посудин тиску при застосуванні підвишених частот //Физ.хим.механика материалов 1994. - №.

12. Орловский А.А., Берник З.А. Оцінка температурної похибки корозіометрії методом електричного опору //Физ.хим.механика материалов. /в друці/.

13. Учанин В.Н., Грабский Ю.С., Берник З.А., Владычин В.И. Вихретоковий метод обнаружения и оценки межкристаллитного поражения аустенитных сталей с применением повышенных рабочих частот. - В кн.: Повышение надежности и долговечности машин и сооружений. - Ч.2. - Киев. - 1991. - С.102-103.

14. Хрипливый А.А., Фомичев С.К., Берник З.А., Белокур И.П. Количественная оценка скорости коррозии при пластической деформации - В кн.: Автоматизация методов неразрушающего контроля качества сварных соединений. - Киев. - 1991 - С.49-50.

АВ 29.390