



УКРАЇНА

(19) UA (11) 29300 (13) A

(51) 6 G01N29/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДвидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЮ ТОВЩИНИ СТІНКИ ТРУБ

(21) 98052348

(22) 07.05.1998

(24) 16.10.2000

(33) UA

(46) 16.10.2000, Бюл. № 5, 2000 р.

(72) Анікеев Яків Фокич, Гуляев Геннадій Іванович,  
Кожевников Володимир Іванович(73) ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ТА  
КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИ-  
ТУТ ТРУБНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ (ДЕРЖАВНИЙ  
ТРУБНИЙ ІНСТИТУТ) "ДТІ"(57) Спосіб ультразвукового контролю товщини  
стінки труб, відповідно котрому у стінку труби, яка  
зазнає поступально-обертальне переміщення че-  
рез імерсійну рідину, за допомогою випромінювача

проводять зведення ультразвукових коливань та сприймають приймачем сигнали, котрі пройшли через стінку труби, а величину товщини стінки визначають шляхом порівняння амплітуд цих сигналів з амплітудами сигналів від еталонів, який **від-різняється** тим, що контроль товщини здійснюють вздовж стінки труби, при цьому випромінювач ультразвукових коливань та приймач сигналів, котрі пройшли стінку труби, розміщують в одній площині, яка проходить через утворюючу трубною поверхні та на однаковій віддалі від поверхні труби, причому кут вводу ультразвукових коливань та кут прийняття сигналів приймачем рівні між собою, а їх величину вибирають з діапазону 16-38°.

Винахід належить до галузі випробування матеріалів та вимірів виробів, зокрема до техніки неруйнівного контролю товщини стінки труб в автоматичному режимі, в імерсійному варіанті і може використовуватись при контролі труб широкого сортаменту.

Відомий спосіб ультразвукового контролю (УЗК) товщини стінки труб, в якому використовують виміри частот акустичних резонансів у виробі, що контролюють. Якщо утворюється нормальне падіння плоскої УЗ-хвилі з води на поверхню труби, що контролюється, то при модуляції в проміжній рідині часто виникає велика кількість резонансних імпульсів, амплітуда яких різко спадає при резонансі металевому шару, як раз це дозволяє виявити його товщину. Спосіб використовується в двох модифікаціях. По-перше, з використанням безперервного контролю товщини металу в стінці. В цьому разі частоту модулюють десь біля центрального її значення так, що прямий і зворотний обіги частотної розгортки приблизно рівні між собою. В такому випадку товщину підраховують по зміні інтервалу часу між резонансними імпульсами, що виникають при прямому і зворотному пробігу розгортки, це уточнює результат та спрощує настрійку.

Друга модифікація, це імпульсно-резонансний засіб, коли в проміжній рідинний шар випромінюють змодульовані по частоті імпульси високочастотних акустичних коливань. У віддзеркаленому імпульсі, при частотах  $f = nc/2d$ , де  $c$  - швидкість УЗ-коливань в металі труби, а  $d$  - товщина стінки, ма-

ємо мінімуми амплітуди, що дозволяє визначити товщину стінки ("Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий", Справочник 2, М.: Машиностроение, 1967 г., с. 240-244).

Цей спосіб контролю товщини стінки труб для широкого діапазону розмірів труб обмежується вимогами високої якості чистоти зовнішньої та внутрішньої поверхні (не нижче 4-5 класу), інакше неможливо одержувати резонанс в товщі стінки труби. Окрім того, при підвищенні швидкості модуляції частоти (з метою прискорення контролю) резонансні явища в стінці труби не встигають установитися, тому виникає "зрив" генерації, від чого настає неможливість проводити виміри товщини стінки. "Зриви" генерації також з'являються в матеріалах труб з малим коефіцієнтом затухання УЗ-коливань, через що в діапазоні модуляції частоти з'являються два резонансних імпульси, які також призводять до "зриву" генерації. Тому труби в нагартваному стані, які характеризуються дуже малим коефіцієнтом затухання, неможливо контролювати.

Відомий спосіб УЗ контролю товщини стінки труби, в якому використовують проміжок часу між зондуючим імпульсом і одним із віддзеркалених в стінці труби імпульсів (або поміж двома ехо-імпульсами). При вимірах товщина стінки  $d = ct/2$ , де  $c$  - швидкість УЗ-коливань, а  $t$  - час проходження УЗ-імпульсу в товщі стінки від місця вводу УЗ-коливань до граничної поверхні включно із зворотним віддзеркаленням імпульсу. В зв'язку з чим, в спосіб використовується замір частоти повтору

(19) UA (11) 29300 (13) A

багаторазових віддзеркалень, або ж замір коливання амплітуди сигналу при наскрізному прозвученні ("Неразрушающий контроль и диагностика", М.: Машиностроение, 1995 г., с. 216-219).

Використовувати цей спосіб для перевірки товщини стінки не дозволяють обмеження достовірності замірів через вплив скривлення та шершавості поверхні труб. Якщо, для пологих чисто оброблених виробів мінімальна товщина стінки складає 0,1-0,3 мм (при абсолютних огріхах вимірів 1-5 мкм), то при збільшенні скривлення поверхні виробів нижня межа замірів швидко зростає. Вже при замірах товщини стінки труб Ø50 мм вона дорівнює 1 мм. В основному цей спосіб використовують при ручному контактному варіанті вводу УЗ-коливань. При безперервному режимі випромінювання товщина стінки виробу заміряється по змінах величини амплітуд одноразового пробігу сигналу. Але, при автоматичному контролі товщини стінки в "тіньовому" варіанті, ні ехо-імпульсний, ні безперервний режими випромінювання широко не застосовуються тому, що їх точність залежить від багатьох факторів, та головним з них є неможливість введення приймача-випромінювача в порожнину труби.

Відомий ще спосіб ультразвукового контролю товщини стінки труб, відповідно котрому у стінку труби, яка зазнає поступально-обертальне переміщення через імерсійну рідину, за допомогою випромінювача проводять введення ультразвукових коливань та сприймають приймачем сигнали, котрі пройшли через стінку труби, а величину товщини стінки визначають шляхом порівняння амплітуд цих сигналів з амплітудами сигналів від еталонів. При цьому контроль здійснюють через поперечник труби та її обидві стінки. Випромінювач УЗ-коливань розміщують з одного боку труби, а приймач сигналів - з протилежного боку. Труба заповнюється імерсійною рідиною. Труби з малою скривленістю поверхні прозвучують вздовжними хвилями, а з великою скривленістю - поперечними хвилями (а.с. № 1224715, G01N29/04, 1985 г.).

При користуванні таким способом контролю його достовірність низька тому, що на шляху проходження УЗ-коливань від випромінювача до приймача постає подвійна товщина стінки. Дійсно, спільний час проходження УЗ-коливань від випромінювача до приймача через поперечний переріз дорівнює:

$$t_{\text{сн}} = L/C_B - (1/C_B - 1/C_M)(D-d),$$

де

- L - відстань від випромінювача до приймача,
- $C_B$  - швидкість УЗ-коливань в воді,
- $C_M$  - швидкість УЗ-коливань в металі труби,
- D - зовнішній діаметр труби,
- d - внутрішній діаметр труби.

Із усіх постійних членів УЗ-тракту множник  $(D-d)$  є величина змінна, при цьому вона відповідна подвійній товщині стінки. Отже, при наявності в трубах ексцентриситету внутрішнього діаметра (часте явище при прошивці труб), або змін зовнішнього діаметра, точно виявити розмір стінки неможливо. Окрім того, двостінково-тіньовий засіб потребує заповнення імерсійною рідиною внутрішньої порожнечі труб, що викликає багато незруч-

ностей: як пухирки повітря та інші, а це призводить до повної непрохідності сигналу до приймача.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалити спосіб ультразвукового контролю товщини стінки труб шляхом зміни умов вводу УЗ-коливань та умов прийому приймачем сигналів, котрі пройшли через стінку труби, щоб забезпечити підвищення достовірності контролю товщини стінки.

Поставлена задача розв'язується таким чином, що в способі ультразвукового контролю товщини стінки труб, відповідно котрому у стінку труби, яка зазнає поступально-обертальне переміщення через імерсійну рідину, за допомогою випромінювача проводять введення ультразвукових коливань та сприймають приймачем сигнали, котрі пройшли через стінку труби, а величину товщини стінки визначають шляхом порівняння амплітуд цих сигналів з амплітудами сигналів від еталонів, згідно з винаходом, контроль товщини здійснюють вздовж стінки труби, при цьому випромінювач ультразвукових коливань та приймач сигналів, котрі пройшли стінку труби, розміщують в одній площині, яка проходить через утворюючу трубною поверхні та на однаковій віддалі від поверхні труби, причому кут вводу ультразвукових коливань та кут прийняття сигналів приймачем рівні поміж собою, а їх величину вибирають з діапазону 16-38°.

Пропонований спосіб від прототипу відрізняється тим, що умови вводу УЗ-коливань та умови прийому приймачем сигналів зовсім інші, що дає можливість здійснювати контроль товщини стінки вздовж неї, причому кути вводу коливань та прийому сигналів приймачем рівні поміж собою, а їх величину вибирається з указанного діапазону.

Технічним результатом пропонованого способу є підвищення достовірності контролю товщини стінки. Це досягається завдяки виключенню впливу зовнішнього діаметра труби та впливу ексцентриситету її внутрішнього діаметра, а також, завдяки відсутності виміру усередненої товщини стінки, що характерне для прототипу. Дійсно, в пропонованому способі контролю отримання інформації здійснюється тільки від кожного вузького пологопаралельного відрізка однієї стінки труби, час проходження сигналу по котрому може бути підраховано за формулою:

$$t_{\text{зар}} = \frac{L_1 + L_3}{C_B} + \frac{L_2}{C_M},$$

де

$t_{\text{зар}}$  - час проходження УЗ-імпульсу від випромінювача до приймача (включно з часом проходження імпульсу в стінці труби),

$\frac{L_1 + L_3}{C_B}$  - час проходження УЗ-імпульсу в імерсійній рідині на ділянках: випромінювач - поверхня труби та поверхня труби - приймач,

$\frac{L_2}{C_M}$  - час проходження УЗ-імпульсу в самій стінці труби.

З формули бачимо, що тільки другий доданок є величина змінна, залежна від товщини стінки труби. Окрім того, в формулі не фігурують зовнішній та внутрішній діаметри, різниця між якими відповідає подвійній товщині стінки відповідно прототипу.

Кут вводу УЗ-коливань та дорівнюючий йому кут прийняття сигналів вибирають з діапазону  $16-38^\circ$  (знайденого дослідним шляхом), який відповідає збудженню в товщі стінки труби поперечних та нормальних хвиль.

Пропонований спосіб ультразвукового контролю товщини стінки труб здійснюють таким чином.

По-перше, відтворення пропонованого способу можливе на будь-якому ехо-тіньовому дефектоскопі типу ДУК-66, USL, RPA та інших, що працюють в імпульсному режимі. Це можливо тому, що вказані прилади мають вузли, функції яких аналогічні функціям товщиномірів (генератор зондуючих імпульсів, синхронізатор, генератор розгортки та інші). Ми використали дефектоскоп типу ДУК-66 з випромінювачем та приймачем УЗ-коливань, маючих можливість роботи в іммерсійному варіанті, з циліндрично-фокуруючими лінзами і п'єзоелементами з несучою частотою 5 МГц.

Спосіб має таку послідовність.

1. Випромінювач і приймач УЗ-коливань розташовують в спеціальній головці, яка дозволяє робити прецизійне відслідковування скривлення труби. Окрім того, головка забезпечує розміщення випромінювача та приймача в одній площині, яка проходить через утворюючу трубної поверхні, (тільки з одного боку від поверхні труби) та на однаковій віддалі від неї.

2. В ванночку, де розміщена головка і де є іммерсійна рідина, заводять еталон з номінальною товщиною стінки. Вмикають випромінювач УЗ-коливань в вузол дефектоскопа на режим "ехо".

3. Випромінювач УЗ-коливань розміщують великою напіввіссю фокальної плями паралельно вісі труби на фокусну відстань від поверхні труби (20-22 мм). На екрані дефектоскопа відшукують максимальну амплітуду віддзеркаленого від поверхні труби сигналу і закріплюють випромінювач. Розворотом випромінювача в бік приймача утворюють необхідний кут вводу, що підбирається з діапазону  $16-38^\circ$ . Для труб з товстими стінками і труб з середньою товщиною стінок кути вводу  $16-27^\circ$  забезпечують ввід поперечних хвиль, а для труб з тонкими і особливо тонкими стінками забезпечують збудження нормальних хвиль кути вводу  $32-38^\circ$ . Найкращою умовою вірного налагодження випромінювача по куту вводу є максимальна амплітуда віддзеркалення відбитку, який передчасно був нанесений на внутрішню поверхню еталона-взірця у вигляді крапки довільних розмірів.

4. Вимикають від дефектоскопа випромінювач та підключають до нього приймач (в режимі "ехо"). Потім роблять аналогічне налагодження приймача УЗ-коливань, але кут прийняття забезпечують розворотом його в бік вимкненого випромінювача.

5. Вмикають випромінювач УЗ-коливань в дефектоскоп і перемикають його на режим "тінь". На екрані дефектоскопа повинен спостерігатися сигнал, що пройшов по стінці труби від випромінювача до приймача. Амплітуду цього сигналу виставляють на величину 50% від вертикалі екрану (від лінії розгортки до верха екрану).

6. Почергово змінюють еталони-взірці з недопустимим відхилом розміру стінок на плюс та на мінус, за вимогами ТУ, фіксуючи амплітуди сиг-

налів, котрі пройшли через стінку на стрічку самописця, або ж на індикаторному пристрої, визначають поле допуску.

7. Здійснюють контроль труб, для чого кожную трубу поступально-обертально переміщують через іммерсійну рідину вздовж вісі з шагом, що дорівнює, або дещо більше відстані між входом та виходом УЗ-коливань в стінці труби. Відтворюють запис товщин стінки по всій довжині труби та її поверхні і порівнюють амплітуди сигналів, котрі пройшли через стінку труби, з амплітудами сигналів, що є від еталонів-взірців.

Приклад практичного користування способу, що пропонується.

При контролі користувалися дефектоскопом ДУК-66 з випромінювачем та приймачем УЗ-коливань, пристосованими до іммерсійного варіанту з несучою частотою 5 МГц і циліндрично фокуруючими лінзами з фокусною відстанню  $F=20-22$  мм. Здійснювався контроль товщини стінки труб  $\varnothing 8 \times 1,5$  мм.

1. Підключивши випромінювач та приймач в схему дефектоскопа і розмістивши їх в слідкуючій головці, з діапазону кутів  $16-27^\circ$  вибрали кут  $19^\circ$ , який є оптимальним кутом вводу та прийому УЗ-коливань для цього розміру.

2. По еталонах-взірцях визначили величину амплітуд, що пройшли від випромінювача до приймача сигналів: для номінальної товщини стінки (1,5 мм) –  $25^{+2}_{-2}$  мм; для стінки з недопустимим відхилом  $\pm 10\%$  від товщини (тобто 1,65 та 1,35 мм) – 5 мм і 50 мм, відповідно з тією ж погрешністю.

3. Здійснили контроль труб з танталу в кількості 30 шт., довжиною 1,2 м, проводячи запис на діаграму-стрічку самописця.

Показники контролю порівняли з записом еталонів-взірців. В 7-х трубах (тобто 23,3%) був виявлений розбіг товщини, більший за допустимий. На трубах в 25 місцях вирізали ділянки з максимальним та мінімальним відхилом розмірів від номіналу і індикатором часового типу, ці місця переміряли з точністю  $\pm 2$  мкм. Всі вирізані зразки мали товщину стінки вище допустимого розміру. Замір товщини труб ОТК, перед їх контролем запропонованим способом, не вказав на якість відхилю по стінці і вони були признані годящими. Ті самі місця з великим розбігом розміру стінки труби (25 місць до вирізки) були проконтрольовані способом за прототипом. Цей спосіб підтвердив великий розбіг товщини стінки тільки в 11 місцях, тобто спосіб за прототипом має достовірність лише 44%, тоді коли пропонований спосіб показав 100%.

Таким чином, пропонований спосіб контролю значно достовірніше виявляє розбіжності товщини стінки труб широкого сортаменту, при цьому він дозволяє використовувати серійний ультразвуковий дефектоскоп сумісно з існуючими іммерсійними випромінювачами, які використовують також для дефектоскопії труб. Останнє робить спосіб універсальним тому, що одночасно з дефектоскопією труб можна виконувати також їх товщинометрію, причому прямо в лінії обробки на будь-якій ділянці лінії без попередньої підготовки до контролю (правка, обрізка, зачистка та інші операції), та активно впливати на якість вироблюваних труб.

---

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)  
Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26  
(044) 295-81-42, 295-61-97

---

Підписано до друку \_\_\_\_\_ 2002 р. Формат 60х84 1/8.  
Обсяг \_\_\_\_\_ обл.-вид. арк. Тираж 34 прим. Зам. \_\_\_\_\_

---

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.  
(044) 268-25-22

---