

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **221605**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **391758**

(22) Data zgłoszenia: **06.07.2010**

(51) Int.Cl.  
**G01B 17/00 (2006.01)**  
**G01N 29/00 (2006.01)**  
**G01B 17/02 (2006.01)**

(54)

**Sposób ultradźwiękowego pomiaru obwodu elementów  
o kołowym przekroju, zwłaszcza rur grubościennych**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**16.01.2012 BUP 02/12**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**31.05.2016 WUP 05/16**

(73) Uprawniony z patentu:

**INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMÓW  
TECHNIKI POLSKIEJ AKADEMII NAUK,  
Warszawa, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**JACEK SZELAŻEK, Warszawa, PL**  
**SŁAWOMIR MACKIEWICZ, Warszawa, PL**  
**PIOTR GUTKIEWICZ, Wierzbina, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Anna Bełz**

**PL 221605 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób ultradźwiękowego pomiaru obwodu elementów o kołowym przekroju, zwłaszcza rur grubościennych.

Z patentu amerykańskiego Nr 5156636 znana jest metoda pomiaru zewnętrznej średnicy przedmiotu cylindrycznego polegająca na określeniu zewnętrznego konturu tego przedmiotu metodą echa w zanurzeniu, umieszczonego w uchwycie okalającym badany przedmiot.

Z pracy K. Shivaraj, K. Balasubramaniam, C. V. Krishnamurthy, Ultrasonic Circumferential Guided Wave for Fitting-Type Corrosion Imaging at Inaccessible Pipe Support Locations, Journal of Pressure Vessel Technology, Vol. 130, Nr 2, May 2008 znana jest metoda badania rur ultradźwiękowymi falami typu Lamba rozchodzącymi się w ściance rury w kierunku obwodowym.

Z ultradźwiękowych badań w medycynie znana jest, opisana w pracy C. D. Bertram, Medical and Biological Engineering and Computing, Vol. 15, Nr 5, September 1977, pp. 489–499 metoda pomiaru średnicy arterii metodą ultradźwiękową polegająca na pomiarze czasu przejścia impulsu fali podłużnej biegnącego przez ścianki arterii i wypełniająca ją krew, po średnicy. Znając prędkość fali we krwi oraz w ściance arterii możliwe jest obliczenie średnicy wewnętrznej arterii i grubości jej ścianek.

Z pracy Hideo Nishino, Kenichi Yoshida, Simple method of generating for circumferential shear horizontal waves in a pipe and their mode identifications, Acoustical Science and Technology, Vol. 27, No. 6, 2006, pp. 389–392 znana jest metoda wykrywania wad w ściankach rury poprzecznymi falami płytowymi spolaryzowanymi równolegle do powierzchni ścianek rury i rozchodzącymi się w kierunku obwodowym.

Z patentu amerykańskiego Nr 5035143 znana jest metoda wykrywania deformacji rur w wyniku pełzania wykorzystująca ultradźwiękowe fale powierzchniowe rozchodzące się w kierunku obwodowym po zewnętrznej powierzchni rury. Znając prędkość fali powierzchniowej i czas przejścia potrzebny na przebycie przez falę obwodu rury obliczany jest jej obwód.

Znane ultradźwiękowe metody oceny średnicy lub obwodu walca lub rury obarczone są wadami utrudniającymi ich praktyczne zastosowania lub obniżającymi dokładność pomiaru.

Rozwiązanie według patentu amerykańskiego Nr 5156636 umożliwia pomiar średnicy w praktycznie dowolnym kierunku jednak do wykonania pomiaru konieczne jest zanurzenie badanego elementu w wannie z cieczą i umieszczenie elementu wewnątrz układu głowic ultradźwiękowych. Sposób opisany w patencie 5035143 umożliwia obliczenie obwodu rury lub walca ale jedynie przy założeniu, że jego powierzchnia jest gładka, czysta i swobodna a prędkość propagacji fali powierzchniowej w badanym materiale jest znana. W przypadku rur pokrytych izolacją metoda ta nie może być zastosowana.

Sposoby wykorzystujące zarówno fale Lamba jak i fale płytowe o kierunku drgań równoległym do powierzchni materiału i prostopadłym do kierunku propagacji fali, rozchodzące się w kierunku obwodowym w ściance rury, ze względu na silną zależność prędkości tych fal od grubości ścianki rury są przydatne do wykrywania wad w materiale rury ale nie pozwalają na obliczenie obwodu rury z wystarczającą dokładnością. Jednocześnie sposoby te nie nadają się do badania rur grubościennych. Pomiar średnicy rury falą propagującą się przez obie ścianki rury i wypełniającą ją cieczą, wzdłuż średnicy rury, nie pozwalają na wyznaczenie obwodu rury a tylko jej jednej średnicy i to jedynie w przypadku, gdy rura wypełniona jest cieczą a prędkość propagacji fal w cieczy jest znana.

Celem wynalazku jest wskazanie takiego sposobu pomiaru obwodu zewnętrznego walcowego elementu takiego jak wał czy rura, który by umożliwił pomiar tego obwodu na podstawie czasu przejścia objętościowych fal ultradźwiękowych rozchodzących się w kierunku obwodowym, ulegających wielokrotnym odbiciom od zewnętrznej powierzchni elementu i biegnących po liniach łamanych, przy dostępie do powierzchni elementu jedynie w jednym miejscu na obwodzie i niezależnie od tego czy element jest w pozostałej części obwodu pokryty izolacją czy nie oraz niezależnie czy jest on wypełniony cieczą czy nie. Poza pomiarem zewnętrznego obwodu elementu sposób pozwala też na ocenę czy badany element ma w miejscu badania przekrój kołowy czy też jest lokalnie zdeformowany.

Pomiar obwodu według wynalazku polega na tym, że stosuje się głowicę nadawczą i generuje się w badanym elemencie rozbieżną wiązkę objętościowych poprzecznych fal ultradźwiękowych lub typu SH w kierunku obwodowym. Kąt załamania głowicy nadawczej i odbiorczej ustawionych w jednym miejscu na powierzchni elementu jest bliski kątowni krytycznemu. Fale rozchodzące się w badanym elemencie ulegają odbiciom od zewnętrznej powierzchni elementu, biegną po liniach łamanych i po przejściu całego obwodu elementu a następnie odbiera je się przez głowicę odbiorczą. Na pod-

stawie czasów przejścia odebranych impulsów i na podstawie zadanej prędkości propagacji fal w elemencie, identyfikuje się po jakich drogach rozchodziły się odbierane fale. Znając czasy przejścia zidentyfikowanych fal i drogi po jakich się rozchodzą wyznacza się obwód elementu, co pozwala na obliczenie jego zewnętrznej średnicy. Z proporcji czasów przejścia fal rozchodzących się po różnych drogach w materiale elementu ustala się różnice w obliczeniu obwodu i wyznacza się lokalne deformacje zewnętrznej powierzchni elementu.

Sposób według wynalazku w przykładzie realizacji jest bliżej objaśniony w oparciu o rysunek, na którym fig. 1 przedstawia przykładowo kątową, dwuprzetwornikową głowicę nadawczo-odbiorczą ustawioną na powierzchni elementu i drogi fal w elemencie walcowym, a fig. 2 – przykładowy ciąg impulsów ultradźwiękowych odbieranych przez głowicę odbiorczą.

Do wykonania pomiaru zastosowano głowicę nadawczo-odbiorczą 1, wyposażoną w dwa przetworniki piezoelektryczne 2 i 3 osadzone na jednym klinie załamującym 4, przy czym głowica jest sprzęgnięta akustycznie z zewnętrzną powierzchnią badanego elementu 5 i połączona przewodem 6 z aparatem ultradźwiękowym 7 do pomiaru czasu przejścia impulsów fal ultradźwiękowych. Następnie generowano w materiale badanego przedmiotu falę poprzeczną typu SH za pomocą przetwornika nadawczego 2, która poprzez materiał klina załamującego 4 docierała do punktu 8 na powierzchni badanego elementu, na granicy klin-materiał badany uległa załamaniu i utworzyła w materiale elementu rozbieżną wiązkę fal. Kąt klina 4 był tak dobrany, że wiązka fal załamywała się pod kątem krytycznym. Rozbieżność wiązki fal generowanych przez przetwornik nadawczy 2 głowicy 1 powodowała, że fale rozchodziły się w materiale elementu 5 po różnych drogach i docierały do punktu 8, a następnie przez klin załamujący 4 do przetwornika odbiorczego 3 po wielokrotnych odbiciach od zewnętrznej powierzchni elementu jako fale: trzykrotnie odbita 9, fala czterokrotnie odbita 10, pięciokrotnie odbita 11, sześciokrotnie – 12, siedmiokrotnie – 13, ośmiokrotnie – 14 aż do fali ślizgającej się równolegle do powierzchni elementu, rozchodzącej się jako fala podpowierzchniowa 15. Odebrane przez przetwornik odbiorczy 3 impulsy tworzą ciąg, w którym w przypadku badania elementu o przekroju kołowym odstępy czasowe między odebranymi impulsami są zależne od prędkości fali w materiale elementu, od ilości odbić jakim uległa fala i od średnicy elementu. Czasy przejścia tych fal opisuje wyrażenie:

$$(1) T_n = T_K + \frac{D(n+1)}{c} \sin\left(\frac{\pi}{n+1}\right)$$

gdzie  $T_K$  – czas przejścia fali w klinie załamującym,  
 $n$  – ilość odbić fali na obwodzie,  
 $D$  – średnica badanego elementu,  
 $c$  – prędkość propagacji fali.

Znając zmierzone wartości czasów przejścia  $T_n$ , dla każdej z odebranych fal, można obliczyć średnicę  $D_n$  elementu z zależności (2):

$$(2) D_n = \frac{c(T_n - T_K)}{(n+1) \sin\left(\frac{\pi}{n+1}\right)}$$

gdzie  $D_n$  – średnica wyznaczona z czasu przejścia fali  $n$ -krotnie odbitej.

Równość wszystkich obliczonych średnic  $D_n$  oznaczała, że badany element ma przekrój kołowy w miejscu wykonania pomiaru. Jeśli jedna lub więcej obliczonych z zależności (2) średnic  $D_n$  różniły się od pozostałych, świadczy to o lokalnym odchyleniu przekroju elementu od koła.

Z obliczonych z zależności (2) średnic można obliczyć obwody rury z zależności (3):

$$(3) O_n = \pi D_n$$

gdzie  $O_n$  – obwód rury wyznaczony z czasu przejścia fali  $n$ -krotnie odbitej.

Korzystną cechą takiego sposobu oceny obwodu elementu walcowego, w porównaniu do sposobów wykorzystujących fale powierzchniowe lub płytowe, jest to, że w przypadku badania rur prędkość fal objętościowych nie jest zależna od grubości ścianki rury a jedynie od własności sprężystych materiału z jakiego jest ona wykonana oraz to, że fale poprzeczne spolaryzowane równolegle do powierzchni podczas odbić nie ulegają transformacjom na inne fale. Drugim korzystnym skutkiem wynalazku jest możliwość wykrycia lokalnych deformacji badanego elementu a nie tylko deformacji równomiernej na całym obwodzie rury.

Sposób według wynalazku może znaleźć zastosowanie w monitorowaniu zmian średnic rurociągów parowych pracujących długotrwale w podwyższonych temperaturach, poddanych ciśnieniu wewnętrznemu i narażanych na pękanie.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób ultradźwiękowego pomiaru obwodu elementów o kołowym przekroju metodą ultradźwiękową falami rozchodzącymi się w kierunku obwodowym, generowanymi i odbieranymi w tym samym miejscu na zewnętrznej powierzchni elementu za pomocą głowicy kątowej (1), **znamienny tym**, że stosuje się głowicę (1) nadawczo-odbiorczą, a następnie generuje się w materiale badanego przedmiotu (5) wiązkę fal poprzecznych spolaryzowanych równoległe do tworzącej elementu, następnie mierzy się czasy przejścia fal ulegających wielokrotnym odbiciom od zewnętrznej powierzchni elementu i rozchodzących się po liniach łamanych (9), (10), (11), (12), (13), (14), ..., po czym ze zmierzonych czasów przejścia fal i zadanej prędkości fal w materiale oblicza się obwód elementu.

2. Sposób pomiaru według zastrz. 1, **znamienny tym**, że z proporcji czasów przejścia fal rozchodzących się po różnych drogach w materiale badanego przedmiotu ustala się różnice obliczonego obwodu.

Rysunki

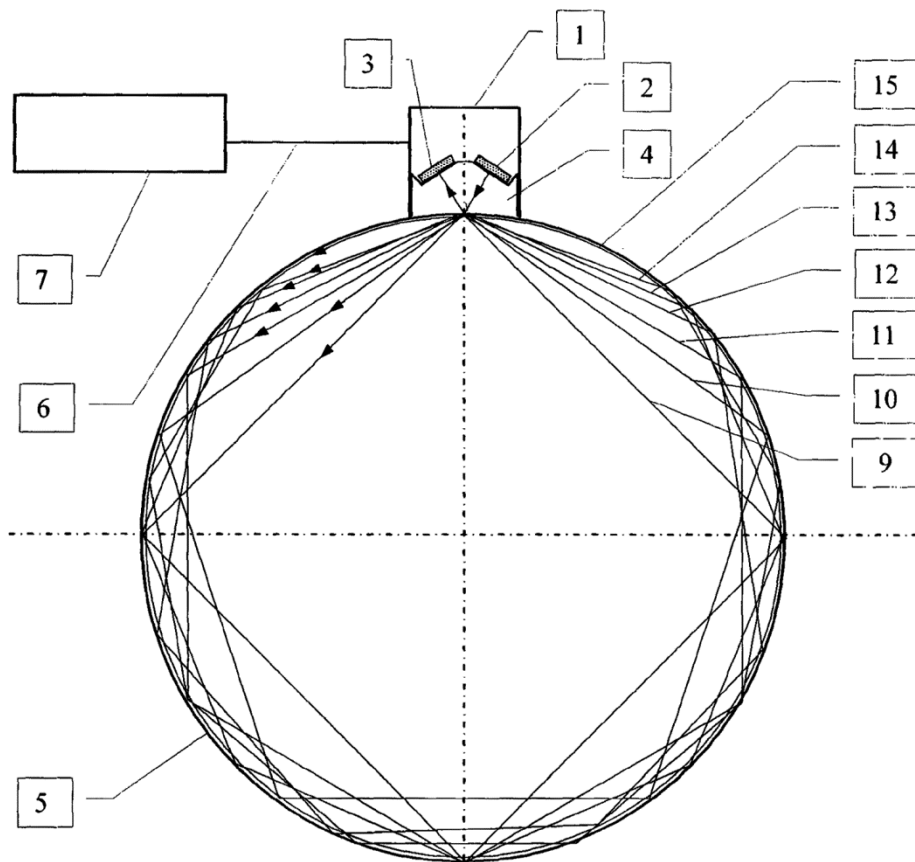


Fig. 1

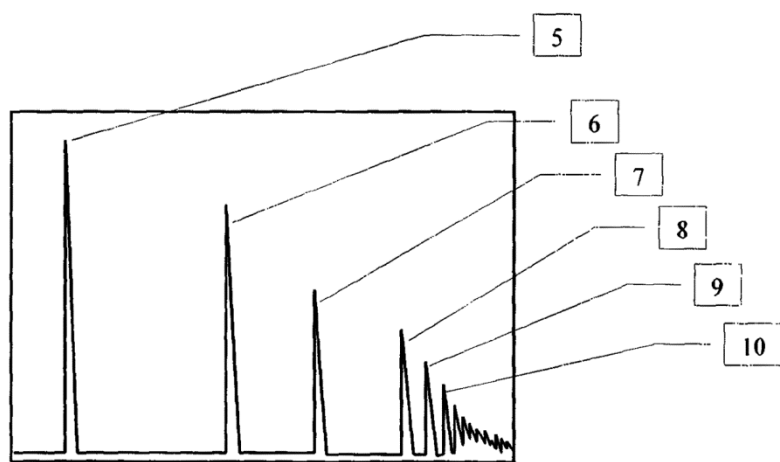


Fig. 2

