



УКРАЇНА

(19) UA (11) 39152 (13) U

(51) МПК (2009)

G01N 29/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) УЛЬТРАЗВУКОВИЙ П'ЕЗОЕЛЕКТРИЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ

1

2

(21) u200810153

(22) 06.08.2008

(24) 10.02.2009

(46) 10.02.2009, Бюл.№ 3, 2009 р.

(72) МАРТИНЮК ЯКІВ ВАСИЛЬОВИЧ, UA, ВЕРБА
ОЛЕКСАНДР АНДРІЙОВИЧ, UA, БОЖКО АНАТО-
ЛІЙ ПАНАСОВИЧ, UA, КОРАБЛЬОВ ГЕННАДІЙ
ФЕДОРОВИЧ, UA, МАРТИНЮК ОЛЕКСАНДР
ЯКОВИЧ, UA(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИ-
ТУТ", UA

(57) Ультразвуковий п'єзоелектричний перетворювач, що містить пластину п'єзоелемента передавача з електродами, демпфер, протектор, причому демпфер з'єднаний з пластиною п'єзоелемента передавача, який **відрізняється** тим, що він містить пластину п'єзоелемента приймача з електродами, яка співвісно з'єднана з пластиною п'єзоелемента передавача, що утворює структуру типу "сендвіч" зі спільним середнім елементам, до якої приєднаний протектор, причому спільний середній електрод "сендвіча" заземлений.

Корисна модель відноситься до неруйнівного контролю і може бути використана для вимірювання товщини деталей ехо-імпульсним методом.

Відомо ультразвуковий п'єзоелектричний перетворювач, [патент США №2896098, МПК G01N29/00, опубл. 21 липня 1959р., та патент США №3554013, МПК G01N29/00, опубл. 12 січня 1971р.], що містить пластину п'єзоелемента передавача з електродами, демпфер, протектор, пластину п'єзоелемента приймача з електродами. Пластины п'єзоелементів передавача та приймача розміщені на відстані одна від одної, таким чином, що їх вісі паралельні або перетинаються в зоні деталі, що контролюється. Такий перетворювач відноситься до класу роздільно-сумісних п'єзоелектричних перетворювачів. Він працює наступним чином. П'єзоелемент передавач перетворює вхідний електричний імпульс в ультразвуковій (УЗ) хвилі і випромінює їх в деталь, п'єзоелемент приймач приймає відбиті від протилежної сторони деталі УЗ хвилі і перетворює їх в електричний ехо-сигнал. Товщину деталі визначають за інтервалом часу між вхідним електричним імпульсом і вихідним ехо-сигналом за винятком часу проходження УЗ хвиль через протектор і з'єднувальні шари. Недоліком такого перетворювача є значні його габаритні розміри та неможливість контролю деталей з обмеженою площею акустичного контакту, внаслідок наявності відстані між пластинами п'єзоелементів та подвійної площі контакту з деталями, що контролюються. Крім того, недоліком

такого перетворювача є наявність похибки вимірювання товщини деталей, внаслідок того, що на виході п'єзоелемента приймача неможливо отримати образ вхідного акустичного сигналу, за яким більш точно визначають інтервал часу проходження УЗ хвиль через деталь з використанням кореляційної обробки.

Найбільш близьким до корисної моделі, що заявляється, є ультразвуковий п'єзоелектричний перетворювач, [патент США №4976150, МПК G01N29/00, опубл. 11 грудня 1990р.], що містить пластину п'єзоелемента передавача з електродами, демпфер, протектор, причому демпфер з'єднано з пластиною п'єзоелемента передавача. В цьому перетворювачі функцію п'єзоелемента приймача виконує пластина п'єзоелемента передавача. Тобто перетворювач має тільки один п'єзоелемент. Такий перетворювач відноситься до класу сумісних п'єзоелектричних перетворювачів. Він працює наступним чином. П'єзоелемент перетворює вхідний електричний імпульс в товщинні УЗ хвилі і випромінює їх в деталь, той же п'єзоелемент приймає відбиті від протилежної сторони деталі УЗ хвилі і перетворює їх в електричний ехо-сигнал. Товщину деталі визначають за інтервалом часу між вхідним електричним імпульсом і вихідним ехо-сигналом за винятком часу проходження УЗ хвиль через протектор і з'єднувальні шари. Цей перетворювач має меншу площу контакту з деталями, що вимірюються, внаслідок того, що його розміри визначаються діаметром

(13) U

(11) 39152

(19) UA

одної пластини п'єзоелемент. Мінімальний діаметр п'єзоелементу, що використовується, є не менше 3мм. Дійсно, при використанні товщинних УЗ хвиль діаметр D пластини п'єзоелемента вибирають із $D=(7-8)h$, де h - товщина пластини. В свою чергу, товщина пластини визначає частоту f УЗ хвиль $f=v/2h$, де v - швидкість звуку в пластині. При $f=5\text{МГц}$, $v=4\cdot 10^3\text{м/с}$ товщина пластини $h=0,4\text{мм}$ і, відповідно, діаметр $D=2,8-3,2\text{мм}$.

Однак, при подальшому зменшенні діаметру п'єзоелемента і, відповідно, перетворювача, що необхідно при застосуванні його для вимірювання товщини деталей з обмеженою площею акустичного контакту, значно зменшується потужність перетворюваних ехо-сигналів, яка пропорційна квадрату ефективної площі п'єзоелемента при заданій його товщині, при цьому амплітуда ехо-сигналів може стати менше шуму, і виділити ехо-сигнал буде важко. Крім того, сигнал на виході п'єзоелемента в момент збудження електричним імпульсом, внаслідок електрично об'єднаних входу і виходу, є сумою сигналів вхідного імпульсу та утвореного ним п'єзосигналу і не може бути дійсним образом вхідного акустичного сигналу, за яким більш точно визначають інтервал часу проходження УЗ хвиль через деталь з використанням кореляційної обробки.

Недоліками такого перетворювача є мала надійність при контролі деталей з обмеженою площею акустичного контакту, внаслідок зменшення потужності перетворюваних ехо-сигналів в залежності від ефективної площі п'єзоелемента, що може привести до зменшення відношення сигнал/шум до критичного рівня. Крім того, недоліком такого перетворювача є наявність похибки вимірювання товщини деталей, внаслідок того, що на виході п'єзоелемента неможливо отримати дійсний образ вхідного акустичного сигналу, за яким більш точно визначають інтервал часу проходження УЗ хвиль через деталь з використанням кореляційної обробки.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалити відомий ультразвуковий п'єзоелектричний перетворювач шляхом введення пластини п'єзоелемента приймача з електродами, яку співвісно з'єднано з пластиною п'єзоелемента передавача, що утворює структуру типу «сендвіч» з спільним середнім електродом, за рахунок чого створено роздільно-сумісний п'єзоелектричний перетворювач, в якому пластини п'єзоелемента передавача та п'єзоелемента приймача акустично зв'язані між собою і утворюють ширококутовий п'єзоелектричний трансформатор, та отримано дійсний образ вхідного акустичного сигналу на виході п'єзоелемента приймача, що забезпечує підвищення надійності при вимірюванні товщини деталей з обмеженою площею акустичного контакту і зменшення похибки вимірювань та габаритних розмірів перетворювача.

Поставлена задача вирішується тим, що в ультразвуковому п'єзоелектричному перетворювачі, що містить пластину п'єзоелемента передавача з електродами, демпфер, протектор, причому демпфер з'єднано з пластиною п'єзоелемента передавача, новим є те, що він містить пластину

п'єзоелемента приймача з електродами, яку співвісно з'єднано з пластиною п'єзоелемента передавача, що утворює структуру типу «сендвіч» з спільним середнім електродом, до якої приєднано протектор, причому спільний середній електрод «сендвіча» заземлено.

Введення в ультразвуковий п'єзоелектричний перетворювач пластини п'єзоелемента приймача з електродами, яку співвісно з'єднано з пластиною п'єзоелемента передавача, що утворює структуру типу «сендвіч» з спільним середнім електродом, дозволяє утворити ширококутовий п'єзоелектричний трансформатор і при заданій частоті УЗ хвиль перейти до комбінованого одночасного збудження пластин п'єзоелементів передавача, приймача та протектора на товщинних хвилях, використовуючи четверть-хвильові коливання, та на радіальних хвилях, використовуючи пів-хвильові коливання, крім того, електрично розділити вхід п'єзоелемента передавача і вихід п'єзоелемента приймача, використавши структуру типу «сендвіч» та заземливши спільний середній електрод «сендвіча», а також на виході п'єзоелемента приймача, тобто фактично на виході п'єзоелектричного трансформатора, отримати образ акустичного сигналу в момент збудження п'єзоелектричного перетворювача.

При цьому, по-перше, одночасне збудження в перетворювачі товщинних четверть-хвильових та радіальних напів-хвильових коливань, внаслідок принципу накладання, створює сумарні коливання, потужність яких підвищиться, що в результаті збільшує амплітуду ехо-сигналів по відношенню до шуму і компенсує зменшення ефективної площі п'єзоелемента. По-друге, наявність електрично розділених входу і виходу, внаслідок використання структури типу «сендвіч» та заземлення спільного електроду «сендвіча», приводить до екранування шуму, і в результаті відношення сигнал/шум буде збільшено. По-третє, сигнал на виході п'єзоелемента приймача в момент збудження п'єзоелемента передавача, внаслідок лінійних перетворень в п'єзоелектричному трансформаторі, буде становити дійсний образ вхідного акустичного сигналу, за яким більш точно буде визначено інтервал часу проходження УЗ хвиль через деталь з використанням кореляційної обробки. Крім того, загальна товщина пластин п'єзоелементів та протектора для четверть-хвильових коливань буде складати $h=v/4f$, діаметр пластин п'єзоелементів для пів-хвильових коливань буде складати $D=v_1/2f$, де $v_1=0,75v$ - швидкість радіальних хвиль, v - швидкість поздовжніх хвиль в напрямку товщини структури, і в результаті для заданої частоти діаметр пластин $D=1,5h$, тобто діаметр пластин п'єзоелементів буде зменшено.

Таким чином, по-перше, надійність ультразвукового п'єзоелектричного перетворювача при контролі деталей з обмеженою площею акустичного контакту підвищиться, тому що підвищиться потужність і амплітуда ехо-сигналів по відношенню до шуму, внаслідок одночасного збудження перетворювача на товщинних та радіальних хвилях, що компенсує зменшення ефективної площі п'єзоелемента. Крім того, надійність ультразвуково-

вого п'єзоелектричного перетворювача підвищиться ще й тому, що електричне розділення входу і виходу, внаслідок використання структури типу «сендвіч» та заземлення спільного електроду «сендвіча», приводить до екранування шуму і збільшення відношення сигнал/шум. По-друге, похибку вимірювання товщини деталей ультразвуковим п'єзоелектричним перетворювачем буде зменшено, тому що на виході п'єзоелемента приймача, внаслідок застосування п'єзоелектричного трансформатора, буде отримано дійсний образ вхідного акустичного сигналу, за яким більш точно визначають інтервал часу проходження УЗ хвиль через деталь з використанням кореляційної обробки. Крім того, габаритні розміри ультразвукового п'єзоелектричного перетворювача буде зменшено і його можна буде застосувати для вимірювання деталей з обмеженою площею акустичного контакту, тому що в разі використання пів-хвильових радіальних коливань при збереженні їх частоти діаметр пластин п'єзоелементів буде значно зменшено.

На Фіг. приведено приклад конструкції ультразвукового п'єзоелектричного перетворювача.

Приклад конкретного виконання ультразвукового п'єзоелектричного перетворювача ілюструє приведена на Фіг. конструкція, що містить пластину п'єзоелемента передавача 1 з електродами, пластину п'єзоелемента приймача 2 з електродами, демпфер 3, протектор 4, корпус 5, еластичний наповнювач 6. Причому демпфер 3 з'єднано з пластиною п'єзоелемента передавача 1, пластину п'єзоелемента приймача 2 співвісно з'єднано з пластиною п'єзоелемента передавача 1, що утворює структуру типу «сендвіч» з спільним середнім електродом, до якої приєднано протектор 4, і спільний середній електрод «сендвіча» заземлено. Перетворювач також має вхід 7, з'єднаний з електродом п'єзоелемента передавача 1, вихід 8, з'єднаний з електродом п'єзоелемента приймача 2, та спільний контакт 9, з'єднаний з середнім спільним електродом «сендвіча» та корпусом 5, який також заземлено. Контакт перетворювача з деталями, що вимірюються, здійснюється через рідинний з'єднувальний шар 10.

Пластини п'єзоелементів передавача та приймача можуть бути виготовлені з п'єзоелектричної кераміки, наприклад, типу ЦТС-36 або ПКР-1. Електроди п'єзоелементів можуть бути виготовлені з впаленого срібла або багат шарової металізації. Демпфер може бути виготовлено з порошку вольфраму, що змішаний з епоксидним компаундом. Протектор може бути виготовлено зі стійкої до зносу кераміки типу 22ХС. З'єднання пластин п'єзоелементів передавача та приймача в структуру типу «сендвіч» може бути виконано методом дифузійного зварювання, з'єднання демпфера з пластиною п'єзоелемента передавача та протектора з пластиною п'єзоелемента приймача може бути виконано епоксидним клеєм. Еластичний наповнювач може бути виготовлено на основі епоксидного компаунду. В якості рідинного з'єднуваль-

ного шару може бути використано, наприклад, гліцерин або машинне масло.

Ультразвуковий п'єзоелектричний перетворювач працює наступним чином. На вхід 7 перетворювача від електронного блоку (на Фіг. не показано) подають електричний імпульс протяжністю пів періоду основної частоти коливань перетворювача. Пластина п'єзоелемента передавача 1 перетворює електричний імпульс в УЗ коливання, частота яких визначається, виходячи з загальної товщини h пластин п'єзоелементів 1, 2 та протектора 4 і їх діаметра D , як $f = v/4h$ для чверть-хвильових товщинних коливань, та $f_1 = v_1/2D$ для пів-хвильових радіальних коливань. Загальну товщину h та діаметр D пластин п'єзоелементів та протектора вибирають такими, щоб $f = f_1$. В цьому випадку товщинні і радіальні коливання відбуваються на одній частоті, і потужність збуджених УЗ хвиль буде максимальною, що підвищує відношення сигнал/шум і надійність перетворювача. Демпфер 3, широкосмуговий п'єзоелектричний трансформатор, що утворений пластинами п'єзоелементів 1 і 2, протектор 4 та еластичний наповнювач 6 створюють умови для формування чверть-хвильових коливань, для максимального скорочення протяжності акустичного сигналу збуджених УЗ хвиль, а також для максимального їх затухання в демпфері. Збуджені УЗ хвилі в структурі п'єзоелемент передавача 1, п'єзоелемент приймача 2 та протектор 4 передаються без викривлення через рідинний з'єднувальний шар 10 в деталь, що вимірюється. Крім того, в момент збудження УЗ хвиль на виході п'єзоелемента приймача 2, внаслідок п'єзоелектричних перетворень, виділиться п'єзосигнал, як дійсний образ вхідного акустичного сигналу збуджених УЗ хвиль, що поступає на вихід 8 перетворювача і запам'ятовується в електронному блоці.

УЗ хвилі, пройшовши через рідинний з'єднувальний шар 10, розповсюджуються по деталі, що вимірюється, відбиваються від її протилежної сторони у вигляді акустичного ехо-сигналу, повертаються до перетворювача і, пройшовши знову через рідинний з'єднувальний шар 10 та протектор 4, перетворюються пластиною п'єзоелемента приймача 2 в електричний ехо-сигнал, що поступає на вихід 8 перетворювача і порівнюється в електронному блоці з образом вхідного акустичного сигналу збуджених УЗ хвиль з використанням кореляційної обробки. При цьому вимірюється інтервал часу між образом вхідного акустичного сигналу збуджених УЗ хвиль і електричним ехо-сигналом за винятком часу проходження УЗ хвиль через протектор 4 і з'єднувальні шари, що найбільш достовірно відповідає подвійній товщині деталі, і, таким чином, похибку вимірювання товщини деталей ультразвуковим п'єзоелектричним перетворювачем буде зменшено. Крім того, електричне розділення виходу 8 з входом 7 перетворювача і заземлення спільного електроду 9 «сендвіча» знижує рівень шумів, підвищує відношення сигнал/шум і надійність перетворювача.

Для конкретного виконання ультразвукового п'єзоелектричного перетворювача основна частота дорівнювала 3,5МГц, загальна товщина пластин п'єзоелементів та протектора - 0,4мм, діаметр

пластин - 0,6мм, що значно зменшило габаритні розміри перетворювача і визначило його використання для вимірювання товщини деталей з обмеженою площею акустичного контакту 0,05-0,1мм².

