



УКРАЇНА

(19) UA (11) 71637 (13) C2
(51) 7 G01N29/00, G01N29/18МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) ПРИСТРІЙ КОНТРОЛЮ МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ ТА ДЕФОРМАЦІЙ В ТВЕРДИХ СЕРЕДОВИЩАХ

1

2

(21) 2002032258

(22) 21.03.2002

(24) 15.12.2004

(46) 15.12.2004, Бюл. № 12, 2004 р.

(72) Сміленко Володимир Миколайович, Гуца Олег Йосипович, Бородовий Володимир Олександрович, Кудрявцев Юрій Пилипович, СА, Клейман Яків Ісакович, СА

(73) Сміленко Володимир Миколайович, Гуца Олег Йосипович, Бродовий Володимир Олександрович, Кудрявцев Юрій Пилипович, СА, Клейман Яків Ісакович, СА

(56) SU 493728, G01N 29/00, 1968

SU 1756815, G01N 29/18, 1992

SU 1260841, G01N 29/00, 1986

(57) Пристрій контролю механічних напружень та деформацій в твердих середовищах, що містить послідовно з'єднані формувач сигналів збудження, підсилювач, атенюатор і послідовно з'єднані блок перетворення сигналів, вимірювач часових інтервалів, інтерфейс і блок автоматичного регулювання посилення, виходом підключений до другого входу атенюатора, формувач сигналів збудження, входом з'єднаний із другим виходом інтерфейсу, входи-виходи блока діалогового введення-виводу й інтерфейсу з'єднані між собою шинами управління, даних та адреси, який відрізняється тим, що додатково містить широкосмуговий підсилювач, перший вхід якого з'єднаний із виходом атенюатора, третій вхід з'єднаний із другим виходом блока автоматичного регулювання посилення, а вихід з'єднаний із першим входом блока перетво-

рення сигналів, вихід якого з'єднаний із першим входом пристрою спостереження, вихід якого з'єднаний із входом формувача сигналів строба, вихід якого з'єднаний із другими входами пристрою спостереження, блока перетворення сигналів, широкосмугового підсилювача і вимірювачем амплітуди відбитого сигналу, перший вхід якого з'єднаний із виходом атенюатора і другим входом блока автоматичного регулювання посилення, а вхід-вихід шинами управління та команд з'єднаний із четвертим входом-виходом інтерфейсу, третій вхід-вихід якого шинами управління та команд з'єднаний із входом-виходом формувача сигналів строба, блока автоматичного регулювання посилення, формувача сигналів збудження і першим входом-виходом пристрою повороту та вибору ультразвукового перетворювача, другий вхід-вихід якого з'єднаний із другим входом-виходом спільного ультразвукового перетворювача поздовжньої та зсувної хвиль, першим входом-виходом з'єднаний із входом підсилювача і виходом формувача сигналів збудження, магнітопружний давач із пристроєм управління, вхід-вихід якого шинами управління та команд з'єднаний із шостим входом-виходом інтерфейсу, п'ятий вхід-вихід якого шинами управління та команд з'єднаний із вимірювачем часових інтервалів, перший вхід-вихід інтерфейсу шинами управління та команд з'єднаний із першим входом-виходом блока управління та контролю, другий вхід-вихід якого призначений для підключення комп'ютера.

Винахід відноситься до області ультразвукової техніки, зокрема, до засобів неруйнівного ультразвукового контролю механічних напружень у твердих середовищах та визначення пружних властивостей матеріалів.

Найбільш ефективно винахід застосовується для оперативного визначення механічних напружень в елементах зварних металевих конструкцій як від зовнішнього навантаження, так і залишкових без руйнування і контролю зміни залишкових напружень при додатковій обробці конструкцій у зоні зварного шва.

Даний пристрій може використовуватися також

при визначенні пружних властивостей матеріалів, дослідженні фізико-механічних властивостей різних матеріалів, що знаходяться у твердому стані, вимірюванні швидкості поширення ультразвуку та товщини твердих тіл.

Аналіз літератури та наявного досвіду використання відомих методів неруйнівного контролю напружень в твердих тілах засвідчують, що найбільш простим та ефективним методом контролю напружень в елементах конструкції є метод, заснований на ефекті акустопружності. Його суть полягає в лінійній залежності фазової швидкості при розповсюдженні ультразвукових пружних

(13) C2

(11) 71637

(19) UA

хвиль в матеріалі від величини, знаку та характеру розподілення напружень (А. с. №493728, МПК⁷ G01N29/00, 29/04, 1975р., А. с. №1260841, МПК⁷ G01N29/00, 1986р.). Характер такої залежності не однаковий для різних типів ультразвукових хвиль і залежить від механічних властивостей матеріалу і зовнішніх силових впливів на нього. Так, наприклад, із зростанням розтягуючих напружень в ряді конструкційних матеріалів швидкість розповсюдження ультразвукової хвилі зсуву, яка поляризована вздовж діючого навантаження, зменшується, а швидкість ультразвукової хвилі зсуву, поляризованої поперек навантаження, збільшується. При цьому швидкість розповсюдження поздовжньої ультразвукової хвилі зменшується. Подібні залежності існують і для поверхневих ультразвукових хвиль.

Встановлено, що зміни швидкостей розповсюдження ультразвукових хвиль під впливом напружень невеликі. Для більшості металів та їх сплавів величина складає долі відсотка від номіналу. Тому для вимірювання швидкості розповсюдження пружних хвиль в твердих тілах з напруженнями потрібен пристрій, що забезпечує відносну похибку вимірювання не вищу 10^{-6} .

Практично пропорційна залежність між змінами напруження та швидкостей розповсюдження пружних хвиль спостерігається в межах пружного деформування досліджуваного матеріалу. Це обмежує застосування методу вимірювання напружень в межах пружних деформацій. Для точного визначення знаку, величини та характеру розподілення залишкових напружень в робочому перетині контрольованого матеріалу необхідно роздільний вимір швидкостей поздовжньої та зсувних ультразвукових хвиль. Відомі пристрої реалізують вищевказаний метод контролю напружень у твердих середовищах із застосуванням окремих перетворювачів поздовжньої та зсувної ультразвукових хвиль, що підключаються в точці виміру по черзі. З огляду на відомі труднощі вимірювання швидкостей розповсюдження ультразвукових хвиль з достатньою точністю, звичайно використовується вимірювання часової характеристики швидкості - часового інтервалу розповсюдження (пробігу) ультразвукової хвилі від сигналу збудження ультразвукових хвиль до прийому будь-якого номера багаторазово відбитого сигналу, або зворотна його величина - частота. Обміряні частоти та значення пружних-акустичних коефіцієнтів для даного типу матеріалу є вихідними даними для обчислення діючих напружень.

Пружно-акустичні коефіцієнти враховують пружні властивості контрольованого матеріалу та інші його фізико-хімічні характеристики, що визначаються шляхом ультразвукових вимірювань зразків відповідних матеріалів у навантаженому і вільному стані.

Встановлено, що поздовжня та зсувна ультразвукові хвилі при поширенні усередині матеріалу мають різну величину затухання. При цьому в одній і тій же точці виміру маємо різну кількість відбитих сигналів для поздовжнього та зсувного перетворювача. Крім того, амплітуда прийнятих сигналів зсувного ультразвукового перетворювача змінюється від орієнтації площини поляризації в

контрольованій точці матеріалу. Максимум амплітуди хвилі зсуву спостерігається при розміщенні вектора поляризації ультразвукового зсувного перетворювача уздовж або поперек лінії прокату матеріалу. Також на швидкість розповсюдження пружних ультразвукових хвиль та амплітуду прийнятих сигналів впливають і такі фактори, як температура, хімічний склад матеріалу, термообробка, початковий деформований стан і текстура.

Пристрої для вимірювання часового інтервалу розповсюдження ультразвукової хвилі засновані здебільшого на частотно-імпульсному методі вимірювання і використовують метод автоциркуляції імпульсів. Метод автоциркуляції імпульсів полягає в тому, що прийняті приймачем відбиті ультразвукові сигнали, що пройшли через досліджуваний матеріал, використовуються для повторного запуску і збудження ультразвукових сигналів. В результаті встановлюється певна частота повторення імпульсів збудження, яка прямо-пропорційна часу пробігу ультразвукового сигналу і відображає швидкість розповсюдження ультразвукових хвиль в досліджуваному матеріалі. В цих пристроях для збудження та прийому ультразвукових сигналів використовуються акустичні перетворювачі, окремо для кожного типу хвиль.

Основним та суттєвим недоліком, що впливає на достовірність та точність контролю напружень є похибка при вимірюванні частот відбитих ультразвукових сигналів. Основними причинами, що впливають на точність вимірювання частоти відбитих ультразвукових сигналів є:

- залежність початкового положення відбитого ультразвукового сигналу від тривалості сигналу збудження для поздовжнього і зсувного ультразвукового перетворювача;

- залежність початкового положення відбитого ультразвукового сигналу від його амплітуди при зміні її у широкому динамічному діапазоні, що пов'язано із тим, що сигнал запуску формується із амплітуди прийнятого відбитого сигналу в компараторі, рівень порога в якому встановлений вище рівня шумів і не змінюється в процесі вимірювання частоти, а амплітуда прийнятого ультразвукового сигналу може змінюватися в широкому динамічному діапазоні;

- нестабільність акустичного середовища, що впливає на параметри ультразвукового сигналу при багаторазовому проходженні його через середовище акустичного контакту;

- зміна фронту першої півхвилі відбитого сигналу, що несе інформацію про напружений стан матеріалу, що пов'язано із тим, що відбиті сигнали від минулих імпульсів не встигають загаснути, при цьому створюється високий рівень, хаотичність і суперпозиція шумів, порівняних із амплітудою корисного сигналу, що накладаються на прийняті відбиті сигнали;

- відсутність можливості вибору і настроювання на той самий дальній номер відбитого сигналу для поздовжнього та зсувного ультразвукового перетворювача, в зв'язку із різним загасанням поздовжньої та зсувної ультразвукових хвиль.

Відомий пристрій, що застосовується для контролю механічних напружень в твердих середовищах, принцип роботи якого заснований на час-

тотно-імпульсному методі вимірювання часу поширення ультразвуку з використанням системи автоциркуляції ультразвукових коливань. До складу його входить ультразвуковий перетворювач, генератор електричних імпульсів, підсилювач, детектор, часовий селектор, лінія затримки, генератор імпульсів збудження, схема збігу та електронно-лічильний вимірювач частоти (А. с. №493728, МПК⁷ G01N29/00, 1968р.). Недоліком цього винаходу, як і розглянутих аналогів, які використовують метод автоциркуляції імпульсів, полягає у низькій достовірності і точності вимірювання частоти відбитих сигналів та визначення механічних напружень.

За прототип запропонованого винаходу прийнятий пристрій контролю механічних напружень в твердих середовищах, що містить (див. Фіг.13): послідовно з'єднані формувач сигналів збудження 2, підсилювач 3, атенюатор 4 і послідовно з'єднані блок перетворення сигналів 5, вимірювач часових інтервалів 9, інтерфейс 7, блок автоматичного регулювання посилення 6, виходом підключений до другого входу атенюатора 4; формувач сигналів збудження 2, входом з'єднаний з другим виходом інтерфейсу 7; входи-виходи блоку діалогового введення-виводу 8 та інтерфейсу 7 з'єднані між собою шинами управління, даних та адресу. Крім того він включає: блок обчислення 19 і оперативно запам'ятовуючий блок 20, входи-виходи яких шинами управління даних та адресу з'єднані з входами-виходами інтерфейсу 7, блоку діалогового введення-виводу 8 та шинами управління - з входом-виходом формувача сигналів збудження 2, а також ультразвуковий перетворювач 18, що складається із двох змінних конструкцій які входом-виходом, по черзі, підключаються до виходу формувача сигналів збудження 2 і входу підсилювача 3; вихід атенюатора 4 з'єднаний із першим входом блоку перетворення сигналів 5, другий вихід якого з'єднаний із другим входом блоку автоматичного регулювання посилення 6, вихід якого з'єднаний із другим входом блоку перетворення сигналів 5; третій вихід інтерфейсу 7 з'єднаний із другим входом вимірювача часових інтервалів 9, другий вихід якого і другий вхід інтерфейсу з'єднані шинами зв'язку (А.с. №1756815, МПК⁷ G01N29/18, опубл. в Б.В. №31, 1992р.).

Принцип дії цього пристрою заснований на імпульсному методі вимірюванні частоти слідування сигналів, суть якого полягає в тому, що в досліджуваному зразку збуджуються ультразвукові коливання і вимірюється часовий інтервал T_1 , початок якого - це передній фронт імпульсу збудження ультразвукових коливань, а кінець - прихід будь-якого номера багаторазово відбитого сигналу, який візуально вибирається оператором. При цьому частота проходження імпульсів збудження встановлена такою, щоб багаторазово відбиті ультразвукові сигнали, прийняті після кожного імпульсу збудження, повністю згасли. Вимірний часовий інтервал T_1 в прототипі представляється оберненою йому величиною, тобто частотою слідування відбитих сигналів. Збудження та приймання поздовжньої або зсувних ультразвукових хвиль здійснюється роздільно ультразвуковими перетворювачами. Після виміру трьох часових

інтервалів T_i , із врахуванням введених пружних акустичних коефіцієнтів для контрольованого матеріалу, обчислюються напруження, що відображаються на блоці діалогового введення-виводу і записуються в пам'ять для кожної обмірюваної точки матеріалу.

Один із основних та 4&rhoth'«х недоліків цього винаходу, що впливає на вірогідність та точність контролю напружень - це похибка при вимірюванні частот відбитих ультразвукових сигналів (дискретна та приладна), яка є наслідком виміру лише одного часового інтервалу. При вимірюванні частот відбитих сигналів має місце візуальний вибір необхідного прийнятого ультразвукового сигналу та використання трьох розділних (окремих) ультразвукових перетворювачів: одного - поздовжньої і двох - зсувної хвилі та зміна ультразвукових перетворювачів у процесі виконання контролю напружень. Процес контролю супроводжується постійним введенням команд для виконання наступних операцій і візуальним настроюванням на прийнятий ультразвуковий сигнал. Таке ускладнене та багатоопераційне вимірювання неминуче призводить до виникнення похибок.

Недоліком пристрою є також недостатня ефективність і точність вимірювання частот відбитих сигналів у тонких матеріалах товщиною від 2мм. Це пов'язано зі складністю автоматичного вибору, вірогідності визначення та фіксації того самого номера відбитого ультразвукового сигналу для поздовжнього та зсувного ультразвукового перетворювача, тому що перші відбиті сигнали знаходяться в зоні наведення (перешкоди) від імпульсу збудження. А це, в свою чергу, призводить до похибки визначення напружень у тонких матеріалах.

Крім цього, в пристрої не забезпечується необхідна точність вимірювання частоти відбитих сигналів, яка пов'язана із залежністю часового положення сформованого дискретного відбитого сигналу від величини амплітуди прийнятого ультразвукового сигналу при її зміні у великому динамічному діапазоні.

У відомому пристрої відсутня можливість врахування впливу пластичної деформації і текстури прокату на величину напружень.

В основу винаходу, що заявляється, поставлена задача підвищення інформативності, достовірності, автоматизації і точності контролю напружень в елементах конструкцій за допомогою пристрою контролю механічних напружень в твердих середовищах шляхом оснащення його пристроєм повороту та вибору ультразвукового перетворювача, спільним ультразвуковим перетворювачем поздовжньої та зсувної хвилі, широкополосним підсилювачем, формувачем сигналів стробу, пристроєм спостереження, магнітопружним давачем із пристроєм управління, блоком управління та контролю і вимірювачем амплітуди відбитого сигналу, а також оптимізації конструктивних та функціональних зв'язків між цими елементами, що забезпечує можливість збудження та приймання ультразвукових сигналів без зміни ультразвукових перетворювачів в точці виміру, безвізуальне виявлення необхідного номера багаторазово відбитих ультразвукових сигналів і фіксацію одного і того номера відбитого сигналу для ульт-

раззвукового перетворювача поздовжньої та зсувної хвиль, вимірювання їх частот і амплітуд та визначення напружень із централізованим врахуванням введених характеристик матеріалів і вимірних величин, а також виключає залежність початкового положення сформованого дискретного сигналу від зміни амплітуди прийнятого ультразвукового сигналу та фізичних характеристик акустичного середовища.

Поставлена задача досягається за рахунок того, що пристрій контролю механічних напружень в твердих середовищах, що містить послідовно з'єднані формувач сигналів збудження, підсилювач, атенюатор і послідовно з'єднані блок перетворення сигналів, вимірювач часових інтервалів, інтерфейс, блок автоматичного регулювання посилення, виходом підключений до другого входу атенюатора; формувач сигналів збудження входом з'єднаний із другим виходом інтерфейсу; входи-виходи блоку діалогового введення-виводу й інтерфейсу з'єднані між собою шинами управління, даних та адресу, згідно винаходу, додатково містить широкополосний підсилювач, перший вихід якого з'єднаний із виходом атенюатора, третій вхід з'єднаний із другим виходом блоку автоматичного регулювання посилення, а вихід з'єднаний із першим входом блоку перетворення сигналів, вихід якого з'єднаний із першим входом пристрою спостереження, вихід якого з'єднаний із входом формувача сигналів строба, вихід якого з'єднаний із другими входами пристрою спостереження, блоку перетворення сигналів, широкополосного підсилювача і вимірювача амплітуди відбитого сигналу, перший вхід якого з'єднаний із виходом атенюатора і другим входом блоку автоматичного регулювання посилення, а вхід-вихід шинами управління та команд з'єднаний із четвертим входом-виходом інтерфейсу, третій вхід-вихід якого шинами управління та команд з'єднаний із входом-виходом формувача сигналів строба, блока автоматичного регулювання посилення, формувача сигналів збудження і першим входом-виходом пристрою повороту та вибору ультразвукового перетворювача, другий вхід-вихід якого з'єднаний із другим входом-виходом спільного ультразвукового перетворювача поздовжньої та зсувної хвиль, першим входом-виходом з'єднаний із входом підсилювача і виходом формувача сигналів збудження, магнітопружний давач із пристроєм управління, вхід-вихід якого шинами управління та команд з'єднаний із шостим входом-виходом інтерфейсу, п'ятий вхід-вихід якого шинами управління та команд з'єднаний із входом-виходом вимірювача часових інтервалів, перший вхід-вихід інтерфейсу шинами управління та команд з'єднаний із першим входом-виходом блоку управління та контролю, другий вхід-вихід якого призначений для підключення комп'ютера.

Запропонований пристрій у порівнянні з відомим містить нові конструктивні елементи, такі як пристрій повороту та вибору ультразвукового перетворювача, спільний ультразвуковий перетворювач поздовжньої та зсувної хвиль, широкополосний підсилювач, формувач сигналів строба, пристрій спостереження, магнітопружний давач із пристроєм управління, блок управління та контро-

лю і вимірювач амплітуди відбитого сигналу. Введення цих елементів та удосконалення функціональних зв'язків між ними та іншими елементами схеми пристрою обумовлює досягнення наведеного вище технічного результату.

Так, введення спільного ультразвукового перетворювача поздовжньої та зсувної хвиль і пристрою повороту та вибору ультразвукового перетворювача дозволяє автоматизувати процес вимірювання трьох часових інтервалів відбитих ультразвукових сигналів без зміни поздовжнього та зсувного ультразвукових перетворювачів у точці виміру. Одночасне вимірювання часових інтервалів надає змогу уникнути дискретних та приладних похибок вимірювання, які завжди присутні при вимірюванні частот відбитих сигналів, визначених із застосуванням розділних перетворювачів та подальшого опрацювання одержаної інформації. У цьому випадку використовується лише один функціональний елемент схеми (спільний ультразвуковий перетворювач поздовжньої та зсувної хвиль), що мінімізує дискретні та приладні похибки контролю напружень. Спільний ультразвуковий перетворювач поздовжньої та зсувної хвиль представляє собою конструкцію, що складається із двох п'єзоелементів поздовжньої та зсувної хвиль, разом закріплених до демпферу перетворювача, при цьому п'єзоелемент поздовжньої хвилі (поздовжній п'єзоелемент) закріплений до поверхні демпферу, а п'єзоелемент зсувної хвилі (зсувний п'єзоелемент) закріплений до поверхні поздовжнього п'єзоелементу. В алгоритмі обчислення частоти відбитих сигналів для поздовжнього ультразвукового перетворювача враховується час проходження ультразвукової поздовжньої хвилі через товщину зсувного п'єзоелемента.

Введення широкополосного підсилювача, формувача сигналів строба, пристрою спостереження і блоку управління та контролю обумовлює можливість зміни алгоритму роботи атенюатора, блоку перетворення сигналів, формувача сигналів збудження і блоку автоматичного регулювання посилення, що дозволяє автоматично, без візуального настроювання на відбитий ультразвуковий сигнал вибирати необхідний номер багаторазово відбитих ультразвукових сигналів і формувати дискретні сигнали при переході аналогового сигналу через нуль. Таке технічне рішення дозволяє забезпечити високу стабільність формування дискретних сигналів, передній фронт яких не залежить від зміни величини амплітуди аналогового відбитого ультразвукового сигналу у великому динамічному діапазоні та усунути похибку визначення напружень у тонких матеріалах товщиною від 2 мм, яка пов'язана з неточністю вибору і фіксації одного і того ж номера багаторазово відбитого сигналу для поздовжнього та зсувного ультразвукових перетворювачів.

Введення магнітопружного давача із пристроєм управління та вимірювача амплітуди відбитого сигналу дозволяє враховувати в процесі контролю напружень вплив пластичної деформації в матеріалі, а також враховувати вплив текстури та величину наклепу при прокаті матеріалу. Таке технічне рішення дозволяє підвищити достовірність і точність методу контролю напружень в елементах

конструкції, що виготовляється та експлуатується

Винахід ілюструють наведені креслення, де на Фіг.1 представлена функціональна схема запропонованого пристрою контролю механічних напружень та деформацій в твердих середовищах, на Фіг.2-12 приведені часові діаграми, що пояснюють роботу пристрою, що заявляється;

на Фіг.3 представлена функціональна схема відомого пристрою для контролю механічних напружень в твердих середовищах

На функціональній схемі запропонованого пристрою (Фіг.1) конструктивні блоки позначені арабськими цифрами, а входи-виходи цих блоків - римськими. Перший вхід-вихід спільного ультразвукового перетворювача поздовжньої та зсувної хвиль 1 з'єднано з виходом формувача сигналів збудження 2 і входом підсилювача 3, вихід якого з'єднано з першим входом атенюатора 4, вихід якого з'єднано з першими входами широкополосного підсилювача 11 та вимірювачем амплітуди відбитого сигналу 14 і другим входом блока автоматичного регулювання посилення 6, перший вихід якого з'єднано з другим входом атенюатора 4, другий вихід блока автоматичного регулювання посилення 6 з'єднано з третім входом широкополосного підсилювача 11, вихід якого з'єднано з першим входом блока перетворення сигналів 5, вихід якого з'єднано з входом вимірювача часових інтервалів 9 та першим входом пристрою спостереження 12, вихід якого з'єднано з входом формувача сигналів строба 13, вихід якого з'єднано з другими входами пристрою спостереження 12, блока перетворення сигналів 5, широкополосного підсилювача 11 і вимірювача амплітуди відбитого сигналу 14, вхід-вихід якого шиною управління та команд з'єднаний із четвертим входом-виходом інтерфейсу 7, п'ятий вхід-вихід якого шиною управління та команд з'єднано з входом-виходом вимірювача часових інтервалів 9, вихід якого з'єднано із входом інтерфейсу 7, другий вихід якого з'єднано із входом формувача сигналів збудження 2, вхід-вихід магніто-пружного давача із пристроєм управління 15 шиною управління та команд з'єднано із шостим входом-виходом інтерфейсу 7, третій вхід-вихід якого шиною управління та команд з'єднано із входом-виходом формувача сигналів строба 13, блока автоматичного регулювання посилення 6, формувача сигналів збудження 2 і першим входом-виходом пристрою повороту та вибору ультразвукового перетворювача 16, другий вхід-вихід якого з'єднано із другим входом-виходом спільного ультразвукового перетворювача поздовжньої та зсувної хвиль 1, вхід-вихід блоку діалогового введення-виводу 8 шиною управління, даних та адресу з'єднано із другим входом-виходом інтерфейсу 7, перший вихід якого з'єднано із першим входом блоку автоматичного регулювання посилення 6, перший вхід-вихід інтерфейсу 7 шиною управління та команд з'єднано із першим входом-виходом блоку управління та контролю 10, другий вхід-вихід (інтерфейс зв'язку RS-232) якого призначений для підключення комп'ютера 17.

Для порівняння на Фіг.13 наведена функціональна схема пристрою для контролю механічних напружень в твердих середовищах, описаного у

винаході, прийнятому за прототип. Спільні конструктивні елементи, присутні в обох винаходах позначені однаковими цифрами, позицією 18 позначений ультразвуковий перетворювач, позицією - блок обчислень, позицією 20 - оперативно-запам'ятовуючий блок.

Функціонування запропонованого пристрою базується на збудженні та прийманні ультразвукових сигналів сумісним ультразвуковим перетворювачем поздовжньої та зсувної хвиль, на безвізуальному виявленні необхідних номерів багаторазово відбитих ультразвукових сигналів і вимірюванні їх частот слідування з використанням одночасного вимірювання часових інтервалів між двома відбитими сигналами, на вимірюванні амплітуди відбитого ультразвукового сигналу і пластичної деформації та визначення напружень із врахуванням введених граничних характеристик матеріалів і виміряних величин.

Підвищення точності вимірювання часових інтервалів (частот) відбитих ультразвукових сигналів в матеріалах товщиною від 2мм полягає в тому, що одночасно виконується вимірювання часових інтервалів T_1 - від переднього фронту імпульсу збудження ультразвукових коливань, до зафіксованого першого ($1T_1$) відбитого ультразвукового сигналу, і T_2 - від переднього фронту імпульсу збудження ультразвукових коливань, до зафіксованого другого ($1T_2$) відбитого ультразвукового сигналу (див Фіг.2-12). Обчислюється їхня різниця $T_2 - T_1$ яка відповідає фактичному вимірюваному значенню періоду T_1 між двома відбитими сигналами (Фіг.9, 10). При цьому виконується фіксована прив'язка фронту імпульсів збудження до фронту рахункових сигналів високо стабілізованого генератора.

Відомо, що для точного визначення напружень необхідно чітко й однаково враховувати часовий інтервал T_x від переднього фронту імпульсу збудження ультразвукових коливань до одного і того ж номеру відбитого ультразвукового сигналу, як для поздовжнього ультразвукового п'єзоелементу, так і для зсувного ультразвукового п'єзоелементу (Фіг.11, 12). Для тонких матеріалів ця умова не виконується через те, що початкові відбиті ультразвукові сигнали знаходяться в зоні перешкоди (інтервал А), що наводиться сигналом збудження, а також різною кількістю прийнятих відбитих ультразвукових сигналів (Фіг.2, 3), що пов'язано із різним затухання ультразвукових хвиль в матеріалах для поздовжнього та зсувного ультразвукових перетворювачів. Для автоматичного чіткого вибору номера відбитого сигналу виконується заборона на посилення перешкоди (інтервал А). Підсилюються тільки відбиті ультразвукові сигнали, що знаходяться поза зоною перешкоди і тому перший посилений сигнал не є першим відбитим ультразвуковим сигналом (Фіг.5). Тому часовий інтервал T_x для сигналів поздовжнього [ультразвукового п'єзоелемента, сформованого по п'ятому відбитому ультразвуковому сигналі (Фіг.2), не еквівалентний часовому інтервалу T_x для сигналів зсувного ультразвукового п'єзоелемента, сформованого по третьому відбитому ультразвуковому сигналу (Фіг.3). З огляду на вищевикладене, для точного визначення напружень у тонких металах товщи-

ною від 2мм необхідно вимірювати часовий інтервал T_1 між двома відбитими ультразвуковими сигналами (Фіг.2, 3, 5). (На Фіг.2-12 позначення 1BC-6BC означають амплітуди відбитих ультразвукових сигналів).

На блоці діалогового введення-виводу 8 оператором вибирається необхідний режим роботи пристрою і вибір з бази даних, попередньо введених і збережених у пам'яті блоку управління та контролю 10, значення пружно-акустичних коефіцієнтів для контролюваного матеріалу. В енерго-незалежну пам'ять блоку управління та контролю 10 заносяться вимірювані значення частот і амплітуд відбитих поздовжньої та зсувних ультразвукових сигналів, вимірюване значення пластичної деформації та обчисленні значення напружень в контролюваному матеріалі.

Основні рекомендації та команди, що виникають у процесі контролю напружень, обчисленні значення напружень і номограма їх розподілу в контролюваному матеріалі відображаються на екрані дисплея блоку діалогового введення-виводу 8.

Спільний ультразвуковий перетворювач поздовжньої та зсувної хвиль 1 встановлюється в контрольованій точці матеріалу і на блоці діалогового введення-виводу 8 оператором набирається номер вимірюваної точки і натискається відповідна клавіша.

Алгоритм автоматичного способу знаходження, виділення і вимірювання частоти відбитих ультразвукових сигналів для матеріалів товщиною від 2мм виконується в такий спосіб:

1. Сигнали управління і команд із блоку управління та контролю 10 надходять в інтерфейс 7, де по заданій програмі надходять:

- у пристрій повороту та вибору ультразвукового перетворювача 16, із якого сигнал управління надходить на спільний ультразвуковий перетворювач поздовжньої та зсувної хвиль 1, і тим самим забезпечується підключення і коні роль поздовжнього ультразвукового п'єзoelementa до вимірювання;

- у формувач сигналів збудження 2, де встановлюється і фіксується необхідна тривалість імпульсу збудження для поздовжнього ультразвукового п'єзoelementa і мінімальна амплітуда сигналу збудження;

- у блок автоматичного регулювання посилення 6, де формується початкова команда, по якій в атенюаторі 4 встановлюється максимальний коефіцієнт затухання;

- у формувач сигналів строба 13, в якому формуються сигнали, що відключають широкополосний підсилювач 11, вимірювач амплітуди відбитого сигналу 14 і блок перетворення сигналів 5 від посилення та обробки відбитих сигналів.

2. Сигнали збудження надходять на поздовжній п'єзoelement, розміщений на спільному ультразвуковому перетворювачі поздовжньої та зсувної хвиль 1, де електричні сигнали перетворюються в механічні коливання і через акустичний контакт між п'єзoelementом і поверхнею матеріалу надходять до досліджуваного матеріалу. При цьому сигнал збудження надходить і на вхід підсилювача 3. Для захисту підсилювача 3 від впливу сильного сигналу збудження в ньому

встановлений ключ (на схемі не показаний), що відключає вхід підсилювача 3 на час дії сигналу збудження. Однак, будь-який аналоговий ключ не в змозі цілком загасити імпульсний вплив сигналу збудження. Тому на виході підсилювача 3 завжди мають місце загасаючі коливання тривалістю $A_{\text{мкс}}$ (Фіг.2, 3, 11, 12), величина яких залежить від амплітуди імпульсу збудження.

3. Механічні коливання ультразвукової частоти, що поширюються в контрольованому матеріалі, приймаються поздовжнім п'єзoelementом, ці коливання перетворюються в електричні сигнали. Ультразвукові відбиті сигнали підсилюються в підсилювачі 3, коефіцієнт підсилення якого обраний таким, щоб забезпечувалося неспотворене посилення ультразвукових сигналів при мінімальному посиленні перешкод (Фіг.2. 3. 11, 12). Посилені сигнали надходять в атенюатор 4.

4. Блок автоматичного регулювання посилення 6 по командах, що надходять із інтерфейсу 7, видає сигнали управління атенюатору 4 на зниження його коефіцієнта затухання до рівня, при якому на його виході буде зафіксовано, як мінімум, два відбитих сигнали (Фіг.5). При цьому атенюатор 4 відключається на час впливу перешкод (Фіг.4), наведених від сигналу збудження. Якщо при програмній зміні коефіцієнта затухання від максимального до мінімального на виході атенюатора 4 немає двох або більше відбитих сигналів, то з блоку управління та контролю 10 у блок автоматичного регулювання посилення 6 надходить команда про встановлення максимального коефіцієнта затухання в атенюаторі 4, а в формувач сигналів збудження 2 - команда про збільшення амплітуди сигналу збудження і процес знаходження та посилення ультразвукових сигналів повторюється. При відсутності на виході атенюатора 4 відбитих сигналів видається команда про зупинку вимірювання частоти, а на дисплеї блоку діалогового введення-виводу 8 відображається інформація "Немає відбитих сигналів". Таке технічне рішення забезпечує неспотворене посилення ультразвукових відбитих сигналів до заданого рівня при зміні амплітуд ультразвукових коливань у широкому динамічному діапазоні.

5. При наявності на виході атенюатора 4 відбитих сигналів блок автоматичного регулювання посилення 6 фіксує встановлений коефіцієнт затухання, видає про це команду в інтерфейс 7. і по заданій програмі виконує аналіз і виділення повних відбитих сигналів, що не знаходяться в зоні наведення сигналу збудження (Фіг.5). Ця інформація також надходить в інтерфейс 7.

6. Інтерфейс 7 по заданій програмі видає сигнали управління в формувач сигналів збудження 2, фіксуючи встановлену амплітуду сигналу збудження, і в формувач сигналів строба 13. який формує сигнали (строби) супроводу (Фіг.6).

7. Широкополосний підсилювач 11 у стробі підсилює і нормує відбиті ультразвукові сигнали до стандартного рівня (Фіг.7) відповідно до програмного управляючого сигналу, що надходить із блоку автоматичного регулювання посилення 6.

8. Посилені відбиті ультразвукові сигнали (Фіг.7) і сигнали супроводу (Фіг.6) надходять у блок перетворення сигналів 5, що виконує перетворення

ня аналогових відбитих сигналів у дискретні сигнали по нульовому рівню: перехід синусоїди через нуль (Фіг.8). Дане перетворення виконується в стробі для усунення формування сигналів по перешкодах (шумах). Таке технічне рішення дає можливість забезпечити фіксовану прив'язку фронту дискретних сигналів до хвиль ультразвукових відбитих сигналів, що не залежать від зміни амплітуди прийнятих ультразвукових відбитих коливань, зв'язаних зі зміною температури, властивостей акустичного середовища та інших факторів

9. Дискретні відбиті сигнали (Фіг.9) і сигнали супроводу (Фіг.6) надходять у пристрій спостереження 12, який у випадку зсуву хвилі ультразвукового сигналу від центру строба (Фіг.7) виробляє сигнал неузгодженості, що надходить у формувач сигналів строба 13 і встановлює строб у початкове положення. Такий алгоритм і його технічна реалізація дозволяє автоматично відслідковувати часові положення прийнятої хвилі ультразвукового сигналу при динамічній зміні напружень в матеріалі.

10. Дискретні відбиті сигнали (Фіг.9) надходять у вимірювач часових інтервалів 9, де виконується вимірювання часового інтервалу T_1 між двома програмно установленими відбитими сигналами по принципу, описаному вище. Вибір першого сигналу $1T_1$ виконується з умови: $n-2$, а другий сигнал $2T_2$ - $n-1$, де n - кількість відбитих сигналів, сформованих у блоці перетворення сигналів 5. За умови, що $n \leq 2$ і $T_1 \geq 2T_1$, виконується тільки вимір часового інтервалу T_1 - від переднього фронту імпульсу збудження до першого вибраного відбитого ультразвукового сигналу (Фіг.11). Вимірюване значення періоду T_1 у виді коду надходить через інтерфейс 7 у блок управління та контролю 10, де по заданому алгоритмі обчислюється значення частоти відбитого сигналу, що запам'ятовується в ОЗУ. Потім блок управління та контролю 10 видає команду про повторний вимір періоду T_1 . Цикл виміру виконується 16 разів, обчислюється середнє значення часового інтервалу відбитих сигналів, який переводиться в частоту слідування ультразвукових сигналів, що запам'ятовується в ОЗУ блоку управління та контролю 10. Таке технічне рішення підвищує точність вимірювання частоти відбитих сигналів, що пов'язане із впливом приладових часових затримок.

11. Після обчислення першого значення частоти відбитого сигналу видається команда в блок автоматичного регулювання посилення 6 про встановлення максимального коефіцієнта затування в атенюаторі 4 і в формувач сигналів збудження 2 - про зменшення амплітуди сигналів збудження. Потім видається команда про повторне автоматичне виділення і вимірювання частоти відбитих сигналів, що виконується по вищеописаному алгоритмові. Цикл повторюється 8 разів. Виконується аналіз вимірюваних частот для усунення можливих випадкових вимірювань частот по перешкодах (шумах). Обчислюється середнє значення частоти відбитих сигналів і записується в пам'ять блоку управління та контролю 10 для вимірюваної точки.

12. Відбиті сигнали з атенюатора 4 (Фіг.5) і сигнали супроводу (Фіг.6) надходять у вимірювач

амплітуди відбитого сигналу 14, в якому виконується вимірювання амплітуди першої півхвилі відбитого сигналу (Фіг.5). Вимірюване значення амплітуди надходить через інтерфейс 7 у блок управління та контролю 10, де записується в пам'ять для даної вимірюваної точки

13. Після вимірювання частоти й амплітуди відбитих сигналів для поздовжнього ультразвукового п'єзоелементу із блоку управління та контролю 10 видається команда на встановлення всіх пристроїв у початковий стан.

По вищеописаному алгоритмові (п.п.1 ... 13) виконується автоматичний вибір і вимірювання частоти відбитих сигналів із застосуванням зсувного ультразвукового п'єзоелемента (на схемі не показаний), який виконує збудження та приймання відбитих сигналів при розповсюдженні поляризованої ультразвукової хвилі в напрямку дії навантаження або вздовж лінії прокату матеріалу. Потім виконується автоматичний поворот спільного ультразвукового перетворювача поздовжньої та зсувної хвилі 1 на 90° і виконується автоматичний вибір і вимірювання частоти відбитих сигналів із застосуванням зсувного ультразвукового п'єзоелемента, який виконує збудження та приймання відбитих сигналів при розповсюдженні поляризованої ультразвукової хвилі в напрямку, перпендикулярному дії навантаження або перпендикулярному лінії прокату матеріалу

Після виміру трьох частот і амплітуд відбитих ультразвукових сигналів поздовжнім та зсувним ультразвуковими п'єзоелементами видається команда на вимір амплітуди сигналу магнітопружним давачем із пристроєм управління 15, кодове значення якої надходить через інтерфейс 7 у блок управління та контролю 10, де записується в пам'ять для даної вимірюваної точки.

В блоці управління та контролю 10 по заданому алгоритму обчислюються напруження і записуються в пам'ять для вимірюваної точки на поверхні матеріалу

Введення до схеми запропонованого пристрою перелічених вище конструктивних блоків і встановлений зв'язок між ними обумовлює особливості роботи пристрою, відмінну від роботи відомого (прототипу) пристрою, яка здійснюється наступним чином (Фіг.3):

У залежності від встановленого типу ультразвукового перетворювача 18 у контрольованій точці матеріалу, оператор вводить код виміру частоти відбитих сигналів для зсувного або поздовжнього перетворювача 18 і по команді, що надходить із блоку діалогового введення-виводу 8, формувач сигналів збудження 2 формує сигнали збудження потрібної тривалості для працюючого ультразвукового перетворювача 18. Збудження та приймання поздовжньої або зсувної хвилі здійснюється ультразвуковим перетворювачем 18. Прийняті відбиті ультразвукові сигнали підсилюються в підсилювачі 3 і надходять до атенюатора 4, у якому по команді, що надходить із блоку автоматичного регулювання посилення 6, встановлюється необхідний коефіцієнт затування. Блок автоматичного регулювання посилення 6 управляється по лінії зворотного зв'язку із відповідного виходу блоку 5 та кодом сигналу управління

програми, що запускається інтерфейсом 7. Дискретні сигнали із блоку перетворення сигналів 5 надходять у вимірювач часових інтервалів 9, де вимірюється часовий інтервал T_1 відбитих сигналів і його кодове значення через інтерфейс 7, що забезпечує дешифрування та видачу складовим частинам пристрою управляючих команд і кодованих інструкцій, передається в блок обчислень 19. По командам, які вводить оператор із блоку діалогового введення-виводу 8, виконується роздільний вимір трьох часових інтервалів T_1 ультразвуковими перетворювачами 18 для поздовжньої та зсувних хвиль, значення яких відображається на дисплеї блоку діалогового введення-виводу 8. Після вимірювання трьох частот, по команді, яку вводить оператор із блоку діалогового введення-виводу 8 по заданому алгоритму із врахуванням введених пружних-акустичних коефіцієнтів для даного матеріалу та виміряних частот відбитих сигналів, обчислюються напруження, що відображаються на дисплеї блоку діалогового введення-виводу 8 і записуються в пам'ять оперативно-запам'ятовуючого блоку 20 для кожної обмірюваної точки матеріалу.

Таким чином, робота запропонованого пристрою, що базується на принципі автоматичного вибору і чіткої фіксації одного і того номера багаторазово відбитих поздовжніх та зсувних ультразвукових сигналів й обчислення часового інтервалу T_1 між двома відбитими сигналами в матеріалах товщиною від 2мм з використанням одночасного вимірювання часового інтервалу між сигналом збудження і двома відбитими сигналами та облік пластичної деформації, підвищує точність і достовірність визначення в них напружень.

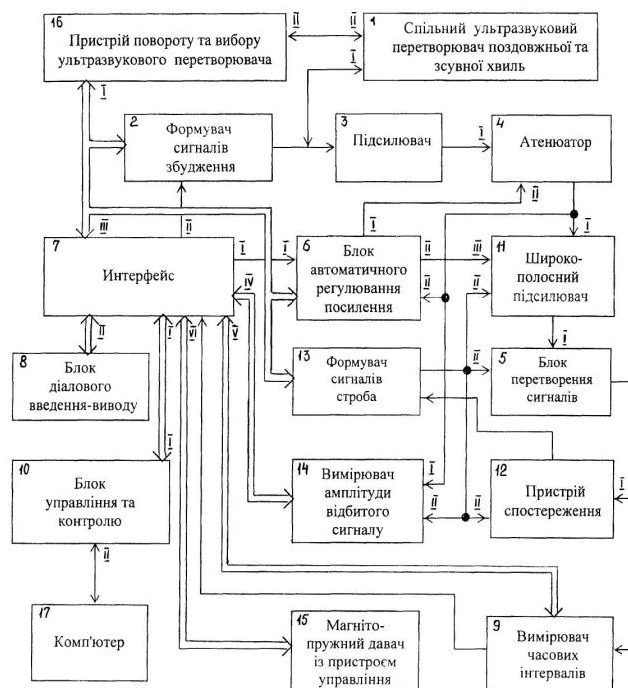
Усі блоки та пристрої, які входять в пристрій контролю механічних напружень та деформацій в твердих середовищах, представлений на Фіг.1,

можуть бути побудований на деталях, які виготовляються серійно.

Блок управління та контролю 10 реалізований на одноплатному комп'ютері типу AR-B9612A PC/104 80386SX-33/40MHz CPU. У блоці діалогового введення-виводу 8, крім клавіш, використовується графічний індикатор типу PG240128 LRU-ATAN-P2. Інші блоки та пристрої реалізовані із застосуванням аналогових мікросхем - AD9057, AD8138, AD8561, AD8036, AD9288, AD7801, AD811, AD823, дискретних мікросхем - IN74ACT00D, IN74ACT04D, IN74ACT08D, IN74ACT10D, IN74ACT20D, IN74ACT74D, IN74ACT86D, IN74ACT138D, IN74ACT161D, IN74ACT175D, IN74ACT193D, IN74ACT245D, TN74ACT273D, IN74ACT373D, таймерів 82C54A, транзисторів 2T326Б, 2T3117А, КП303А, 2T368А, 1HT251, 2TC622А та інших радіоелементів

Використання запропонованого пристрою дозволяє без ускладнення схемотехнічних рішень з високою точністю виконувати автоматичне вимірювання частот відбитих ультразвукових сигналів у матеріалах товщиною від 2мм та усунути похибку при визначенні напружень, яка пов'язана з невірним виміром поздовжньої та зсувної частот для одного і того самого номера відбитого сигналу. Виключається вплив нестабільності акустичного середовища на параметри прийнятого ультразвукового сигналу при вимірюванні частоти відбитих сигналів. Пристрій дозволяє вимірювати швидкість поширення ультразвукових хвиль у матеріалах, їхню товщину, вивчення фізичних властивостей матеріалів.

Облік граничних характеристик матеріалів і вимірюного значення пластичної деформації забезпечує підвищення інформативності, точності і вірогідності контролю напружень в елементах конструкції, що виготовляється та експлуатується.



Фіг. 1

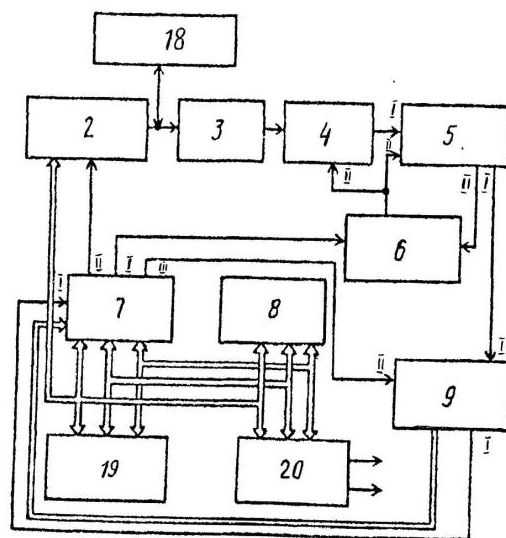
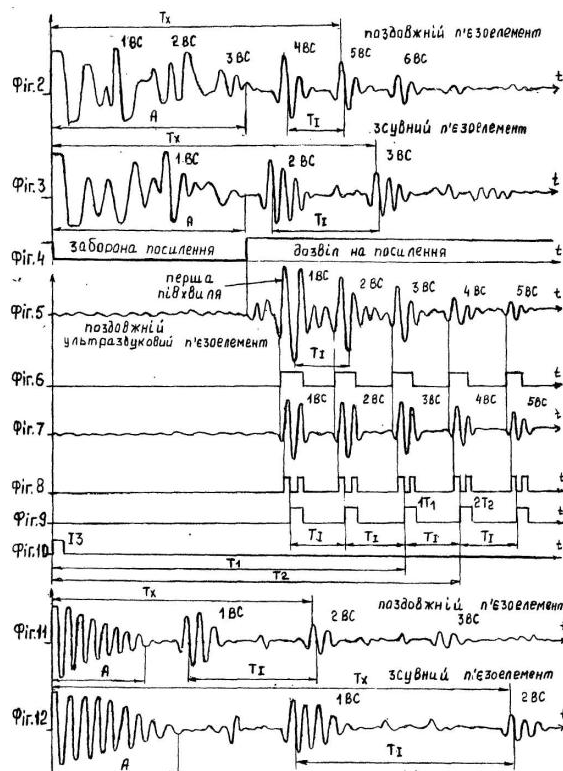


Fig. 13