



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **100405** (13) **U**  
(51) МПК (2015.01)  
**G01N 27/72** (2006.01)  
**G01L 1/12** (2006.01)  
**G01R 33/00**

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

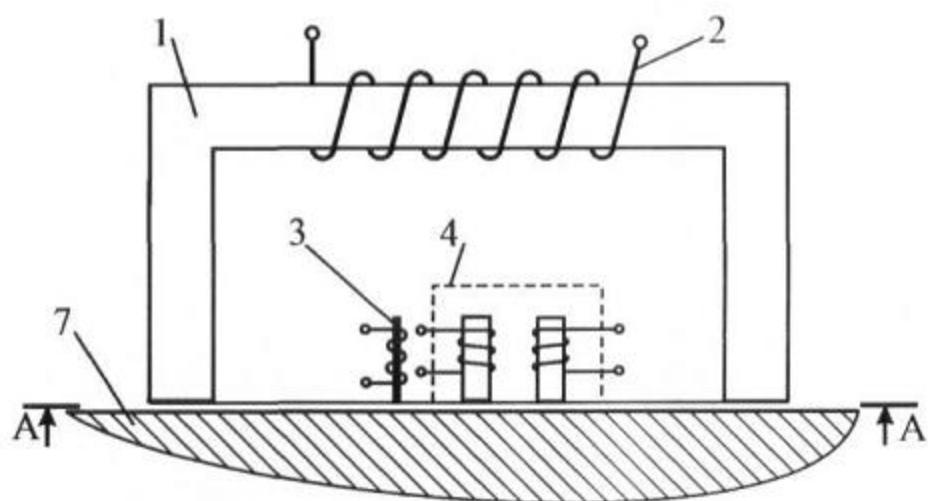
<b>(21)</b> Номер заявки: <b>u 2015 00714</b>	<b>(72)</b> Винахідник(и): <b>Учанін Валентин Миколайович (UA),</b> <b>Мінаков Антон Сергійович (UA),</b> <b>Мінаков Сергій Миколайович (UA),</b> <b>Сидоренко Михайло Володимирович (UA)</b>
<b>(22)</b> Дата подання заявки: <b>29.01.2015</b>	
<b>(24)</b> Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>27.07.2015</b>	
<b>(46)</b> Публікація відомостей про видачу патенту: <b>27.07.2015, Бюл.№ 14</b>	<b>(73)</b> Власник(и): <b>ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Г.В. КАРПЕНКА НАН УКРАЇНИ,</b> вул. Наукова, 5, м. Львів, 79601 (UA)

**(54) ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО КОНТРОЛЮ СТРУКТУРНОГО І НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАТЕРІАЛУ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ФЕРОМАГНІТНИХ СТАЛЕЙ**

**(57) Реферат:**

Електромагнітний перетворювач для комплексного контролю структурного і напружено-деформованого стану матеріалу конструкцій із феромагнітних сталей, що складається із системи перемагнічування контрольованого матеріалу, магніточутливого елемента для визначення параметрів магнітних шумів Баркгаузена або/і магніточутливого елемента для визначення параметрів гістерезисної петлі перемагнічування. Крім того, перетворювач додатково введений давач анізотропії магнітних властивостей матеріалу контрольованої зони у вигляді системи збудження первинного електромагнітного поля, осі якої розташовано перпендикулярно до робочої поверхні, і щонайменше однієї пари сенсорів вторинного електромагнітного поля, сенсори вторинного поля розташовані аксіально відносно системи збудження первинного електромагнітного поля і на однаковій відстані до них, осі чутливості сенсорів орієнтовано перпендикулярно до робочої поверхні, а лінії, що з'єднують осі сенсорів кожної пари з віссю обмоток збудження утворюють кут 90 градусів.

UA 100405 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до методів та засобів неруйнівного контролю електромагнітними методами і може бути використана для комплексного контролю відповідальних конструкцій. Корисна модель може бути використана для оцінки працездатності і експлуатаційного моніторингу у різних галузях виробництва, зокрема хімічній галузі, нафтогазовій галузі, трубопровідному, залізничному транспорті, енергетиці тощо.

Відомий пристрій для неруйнівного контролю анізотропії напружень у феромагнітних матеріалах, перетворювач якого складається із П-подібного електромагніта і обмотки вимірювання шумів Баркгаузена, що розташована між ними [1]. П-подібний електромагніт встановлений з можливістю обертання.

Недоліком відомого перетворювача є його висока складність через необхідність обертання електромагніта. Крім того, на параметри шумів Баркгаузена впливає не тільки напруження, а і структурний стан. Це зменшує точність вимірювання напружень, так як їх вплив неможливо розділити. Це обмежує область застосування відомого перетворювача.

Відомий магнітопружний перетворювач механічних напружень, який складається з магнітопроводу П-подібної форми, полюси якого замикаються контрольованим об'єктом, системи обмоток збудження, що охоплюють магнітопровід, і вимірювальних обмоток. Перевагою перетворювача є можливість врахувати вплив зазору між ним і контрольованою поверхнею шляхом аналізу сигналу додаткових вимірювальних обмоток [2].

Недоліком відомого способу є те, що він не дозволяє визначати зміни структури контрольованого матеріалу, що обмежує область застосування відомого способу.

Відомий датчик магнітної анізотропії, який може використовуватись для вимірювання напружень у феромагнітних матеріалах [3]. Датчик складається із підковоподібного електромагніта і індикаторної котушки на осерді, яка розташована між полюсами електромагніта перпендикулярно до лінії, що з'єднує їх.

Недоліком відомого способу є те, що він не дозволяє визначати структурні зміни контрольованого матеріалу, що обмежує область застосування відомого способу.

Відомий датчик для вимірювання магнітної анізотропії, в тому числі викликаної, зокрема, напруженнями у феромагнітних матеріалах [4]. Датчик складається із півброньованого осердя з обмоткою на центральному стержні для створення первинного поля і чутливих елементів, які розташовані рознесено від осі первинної обмотки в різних напрямках. В одному із варіантів використано 2 чутливих елементи (зокрема, давачі Холла), які розташовані по двох ортогональних напрямках.

Недоліком відомого способу є те, що він чутливий до магнітної анізотропії і не дозволяє визначати структурні зміни контрольованого матеріалу у випадку, коли не змінюються параметри анізотропії. Це обмежує область застосування відомого способу.

Найбільш близьким до запропонованої корисної моделі є відомий перетворювач для визначення напружень розтягу в загартованій зоні на основі одночасного визначення коерцитивної сили і параметрів шумів Баркгаузена [5]. Перетворювач складається із системи перемагнічування контрольованого матеріалу на П-подібному ярмі, магніточутливого елемента для визначення параметрів магнітних шумів Баркгаузена і магніточутливого елемента для визначення параметрів гістерезисної петлі перемагнічування.

Недоліками відомого перетворювача є невисока точність через необхідність попереднього визначення двовимірних діаграм і їх подальшого використання. При цьому напруження і зміни структури під час загартування впливають на обидва вимірюваних параметри - коерцитивну силу і шуми Баркгаузена. Дискретність і нелінійність діаграм призводить до похибок під час інтерпретації отриманих результатів.

Задачею запропонованої корисної моделі є підвищення точності визначення напружень і структурних змін матеріалу конструкцій із феромагнітних сталей.

Ця задача вирішується тим, що в електромагнітний перетворювач для комплексного контролю структурного і напружено-деформованого стану матеріалу конструкцій із феромагнітних сталей, що складається із системи перемагнічування контрольованого матеріалу, магніточутливого елемента для визначення параметрів магнітних шумів Баркгаузена або/і магніточутливого елемента для визначення параметрів гістерезисної петлі перемагнічування, додатково введений давач анізотропії магнітних властивостей матеріалу контрольованої зони у вигляді системи збудження первинного електромагнітного поля, осі якої розташовано перпендикулярно до робочої поверхні, і щонайменше однієї пари сенсорів вторинного електромагнітного поля. Сенсори вторинного поля розташовані аксіально відносно системи збудження первинного електромагнітного поля і на однаковій відстані до них, осі чутливості сенсорів орієнтовано перпендикулярно до робочої поверхні, а лінії, що з'єднують осі сенсорів кожної пари з віссю обмоток збудження утворюють кут 90 градусів.

Електромагнітний перетворювач може бути виконаний з системою перемагнічування у вигляді П-подібного ярма зі встановленою на ньому обмоткою перемагнічування, а магніточутливий елемент для визначення параметрів магнітних шумів Баркгаузена або/і магніточутливий елемент для визначення параметрів гістерезисної петлі перемагнічування розташовані в зоні між полюсами П-подібного ярма.

Давач анізотропії магнітних властивостей матеріалу може складатися із системи збудження первинного електромагнітного поля у вигляді однієї обмотки і двох, включених зустрічно, сенсорів вторинного електромагнітного поля. При цьому обмотка системи збудження розташована між полюсами системи перемагнічування, а один із сенсорів розміщений на прямій, яка паралельна прямій, що з'єднує центри полюсів П-подібного ярма.

Інший варіант давача анізотропії магнітних властивостей матеріалу може складатися із системи збудження первинного електромагнітного поля у вигляді двох обмоток і двох, включених зустрічно, сенсорів вторинного електромагнітного поля. При цьому обидві обмотки системи збудження розташовані по прямій, що направлена під кутом 45 градусів відносно прямої, що з'єднує центри полюсів П-подібного ярма, а дві обмотки системи збудження і два сенсори вторинного електромагнітного поля розташовані по кутах квадрата. На Фіг. 1 представлено запропоновану конструкцію електромагнітного перетворювача для комплексного контролю структурного і напружено-деформованого стану матеріалу конструкцій із феромагнітних сталей з системою перемагнічування контрольованого матеріалу у вигляді обмотки перемагнічування, розташованої на П-подібному ярмі, в якому давач магнітної анізотропії містить одну обмотку збудження первинного електромагнітного поля. На Фіг. 2 представлено переріз А-А креслення електромагнітного перетворювача на Фіг. 1. На Фіг. 3 представлено варіант виконання запропонованого перетворювача з системою перемагнічування контрольованого матеріалу у вигляді обмотки перемагнічування, розташованої на П-подібному ярмі, в якому давач магнітної анізотропії містить дві обмотки збудження первинного електромагнітного поля. На Фіг. 4 представлено переріз А-А креслення варіанта вихрострумового перетворювача на Фіг. 3.

Один із варіантів запропонованого електромагнітного перетворювача для комплексного контролю структурного і напружено-деформованого стану матеріалу конструкцій із феромагнітних сталей (Фіг. 1 і Фіг. 2) складається із П-подібного ярма 1 з обмоткою перемагнічування 2, між полюсами якого розташовані магніточутливий елемент для реєстрації і визначення параметрів магнітних шумів Баркгаузена. Давач анізотропії магнітних властивостей 4 матеріалу контрольованої зони (на Фіг. 1 і Фіг. 2 обведено пунктиром) розташований між полюсами системи перемагнічування і складається із однієї обмотки 5 системи збудження первинного електромагнітного поля і двох сенсорів у вигляді двох індуктивних обмоток 6 для визначення вторинного електромагнітного поля. При цьому один сенсор 6 розміщений на прямій, яка паралельна відносно прямої, що з'єднує центри полюсів П-подібного ярма. Під час проведення контролю електромагнітний перетворювач встановлюється полюсами П-подібної системи перемагнічування на поверхню контрольованої конструкції 7 (Фіг. 1).

Інший варіант запропонованого електромагнітного перетворювача для комплексного контролю структурного і напружено-деформованого стану матеріалу конструкцій із феромагнітних сталей (Фіг. 3 і Фіг. 4) складається із П-подібного ярма 1 з обмоткою перемагнічування 2, між полюсами якого розташовані магніточутливий елемент для визначення параметрів магнітних шумів Баркгаузена 3. Тобто показано простіший випадок, коли перетворювач містить тільки магніточутливий елемент для визначення параметрів магнітних шумів Баркгаузена 3. Давач 4 (на Фіг. 3 і Фіг. 4 обведено пунктиром) анізотропії магнітних властивостей матеріалу контрольованої зони складається із системи збудження первинного електромагнітного поля у вигляді двох обмоток 5 і двох сенсорів у вигляді індуктивних обмоток 6 для визначення вторинного електромагнітного поля. При цьому обидві обмотки системи збудження розташовані по прямій, що направлена під кутом 45 градусів відносно прямої, що з'єднує центри полюсів П-подібного ярма, а дві обмотки системи збудження і два сенсори вторинного електромагнітного поля розташовані по кутах квадрата. Під час проведення контролю електромагнітний перетворювач встановлюється полюсами П-подібної системи перемагнічування на поверхню контрольованої конструкції 7 (Фіг. 3).

Розглянемо роботу запропонованого електромагнітного перетворювача (Фіг. 1 і Фіг. 2). Під час проведення контролю перетворювач встановлюють робочою поверхнею (полюсами П-подібної системи перемагнічування) на поверхню контрольованої конструкції 7. Перемагнічують зону між полюсами, реєструють шуми Баркгаузена і визначають їх параметри, наприклад максимальну амплітуду. Параметри шумів Баркгаузена є структурночутливим параметром, а також залежать від рівня напружень в контрольованому матеріалі. Визначають вихідний сигнал

давача магнітної анізотропії, який складається із обмотки збудження для створення змінного первинного електромагнітного поля робочої частоти в діапазоні від 1 до 20 кГц і двох рознесених вимірювальних обмоток 6 для вимірювання параметрів вторинного електромагнітного поля в точках, що лежать на ортогональних лініях. Відповідно напрямки первинних електромагнітних полів і створених ними вихрових струмів в цих точках є ортогональними один до одного. Тому вторинне електромагнітне поле і сигнал відповідної обмотки залежать від електрофізичних властивостей (для феромагнітних матеріалів, в першу чергу, магнітної проникності) контрольованого матеріалу в напрямку протікання вихрових струмів в цих точках. Сумарний сигнал на виході зустрічно включених обмоток 6, таким чином, буде залежати від анізотропії магнітних властивостей, тобто різниці магнітної проникності в двох ортогональних напрямках.

Аналогічним чином працює інший варіант запропонованого перетворювача на Фіг. 3 і Фіг. 4. Єдиною відмінністю є використання для створення первинного електромагнітного поля двох обмоток збудження 5. А сумарний сигнал для визначення магнітної анізотропії буде реєструватись на виході двох, включених зустрічно, обмоток 6.

Запропонований електромагнітний перетворювач для комплексного контролю забезпечує можливість роздільного визначення змін структури і напружено-деформованого стану конструкцій із феромагнітних сталей, зокрема визначення напружень в умовах зміни структурного стану матеріалів або визначення змін структури в умовах одночасної дії напружень.

Джерела інформації:

1. Авт. свід. №: 1293621, МКИ<sub>2</sub> G01N27/83, Устройство для неразрушающего контроля анизотропии напряжений в ферромагнитных материалах// В.Л. Венгринович, В.Л. Цукерман, опубл. 28.02.87, бюл. № 8, - 3 с.

2. Авт. свід. №: 223434, МКИ<sub>2</sub> G01 L1/12, Магнитоупругий датчик// А.К. Мачковский, В.И. Чаплигин, 1962, - 2 с.

3. Авт. свід. №: 111331, МКИ<sub>2</sub> G01N27/86, Датчик магнитной анизотропии// Ю.Я. Мехонцев, - 4 с.

4. Patent USA № 5475305, G01B33/12, G01B7/24, G01 N27/72, Magnetic inspection probe for measurement of magnetic anisotropy// Jiles J., Devine D., appl. № 19079, filed 18.02.1993, publ. 12.12.1995, - 6 P.

5. Patent USA № 4881030, G01B7/24, G01N27/72, Method and apparatus for measuring and precisely locating internal tensile stresses in hardened regions of components by measuring coercive field strength and Barkhausen noise amplitude// Stuecker E., Hofer G., Koch D., Guenes U., appl. № 182845, filed 18.04.1988, publ. 14.11.1989, - 7 P.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Електромагнітний перетворювач для комплексного контролю структурного і напружено-деформованого стану матеріалу конструкцій із феромагнітних сталей, що складається із системи перемагнічування контрольованого матеріалу, магніточутливого елемента для визначення параметрів магнітних шумів Баркгаузена або/і магніточутливого елемента для визначення параметрів гістерезисної петлі перемагнічування, який **відрізняється** тим, що в перетворювач додатково введений давач анізотропії магнітних властивостей матеріалу контрольованої зони у вигляді системи збудження первинного електромагнітного поля, осі якої розташовано перпендикулярно до робочої поверхні, і щонайменше однієї пари сенсорів вторинного електромагнітного поля, сенсори вторинного поля розташовані аксіально відносно системи збудження первинного електромагнітного поля і на однаковій відстані до них, осі чутливості сенсорів орієнтовано перпендикулярно до робочої поверхні, а лінії, що з'єднують осі сенсорів кожної пари з віссю обмоток збудження, утворюють кут 90 градусів.

2. Електромагнітний перетворювач за п. 1, який **відрізняється** тим, що система перемагнічування виконана у вигляді П-подібного ярма зі встановленою на ньому обмоткою перемагнічування, а магніточутливий елемент для визначення параметрів магнітних шумів Баркгаузена або/і магніточутливий елемент для визначення параметрів гістерезисної петлі перемагнічування розташовані в зоні між полюсами П-подібного ярма.

3. Електромагнітний перетворювач за пп. 1 і 2, який **відрізняється** тим, що давач анізотропії магнітних властивостей матеріалу складається із системи збудження первинного електромагнітного поля у вигляді однієї обмотки і двох, включених зустрічно, сенсорів вторинного електромагнітного поля, обмотка системи збудження розташована між полюсами

системи переманічування, один із сенсорів розміщений на прямій, яка паралельна до прямої, що з'єднує центри полюсів П-подібного ярма.

4. Електромагнітний перетворювач за пп. 1 і 2, який **відрізняється** тим, що давач анізотропії магнітних властивостей матеріалу складається із системи збудження первинного електромагнітного поля у вигляді двох обмоток і двох, включених зустрічно, сенсорів вторинного електромагнітного поля, обидві обмотки системи збудження розташовані по прямій, що направлена під кутом 45 градусів відносно прямої, що з'єднує центри полюсів П-подібного ярма, дві обмотки системи збудження і два сенсори вторинного електромагнітного поля розташовані по кутах квадрата.

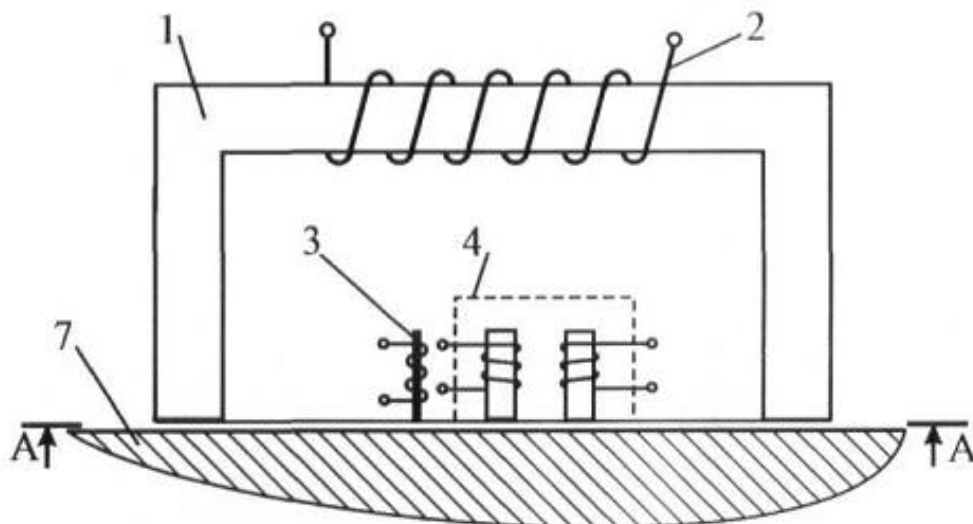


Fig. 1

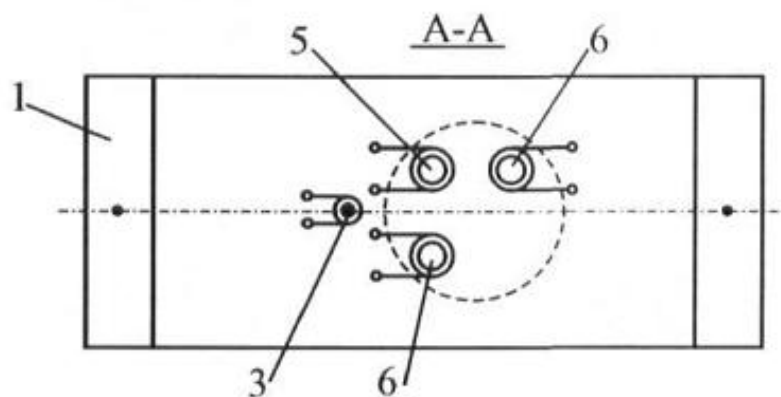
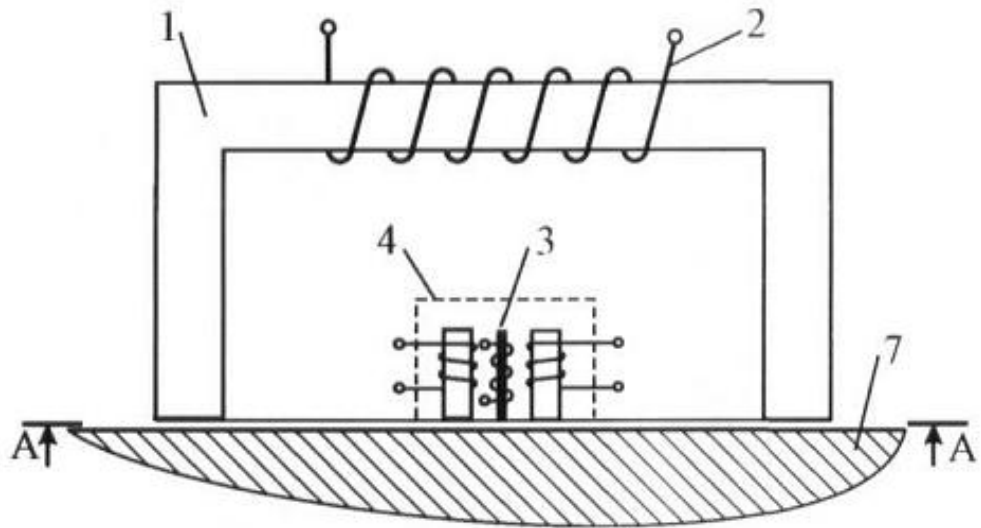
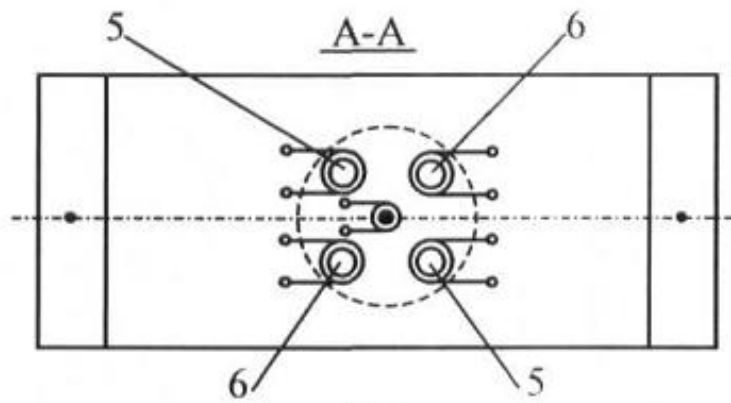


Fig. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

---

Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Василя Липківського, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601