



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 100379

(13) U

(51) МПК

G01L 1/12 (2006.01)

G01N 27/72 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2015 00420**

(22) Дата подання заявки: **20.01.2015**

(24) Дата, з якої є чинними
права на корисну
модель: **27.07.2015**

(46) Публікація відомостей
про видачу патенту: **27.07.2015, Бюл.№ 14**

(72) Винахідник(и):

**Учанін Валентин Миколайович (UA),
Мінаков Сергій Миколайович (UA),
Осташ Орест Петрович (UA),
Безлюдько Геннадій Якович (UA),
Мінаков Антон Сергійович (UA)**

(73) Власник(и):

**ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Г.В.
КАРПЕНКА НАН УКРАЇНИ,
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79601 (UA)**

(54) СПОСІБ КОМПЛЕКСНОГО ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО КОНТРОЛЮ СТРУКТУРНОГО І НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ФЕРОМАГНІТНИХ МАТЕРІАЛІВ

(57) Реферат:

Спосіб комплексного електромагнітного контролю структурного і напружено-деформованого стану феромагнітних матеріалів, полягає у перемагнічуванні контрольованого матеріалу, визначенні структурно-чутливого магнітного параметра, за яким визначають стан контрольованого матеріалу. Додатково визначають параметри анізотропії магнітних властивостей контрольованого матеріалу, які використовують для визначення напруженого стану матеріалу. Структурний стан матеріалу визначають за структурно-чутливим магнітним параметром при визначеному значенні напруження матеріалу в зоні контролю. Попередньо перед проведенням контролю виконують процедуру калібрування, для чого виготовляють зразки із контрольованого матеріалу. Проводять обробку зразків для формування різної структури матеріалу. Формують в зразках з різною структурою матеріалу напруження розтягу і/або стиску. Визначають параметри анізотропії магнітних властивостей. Відповідні значення структурно-чутливого магнітного параметра, які використовують для побудови відповідних калібрувальних залежностей.

UA 100379 U

Корисна модель належить до електромагнітних методів неруйнівного контролю і може бути використаний для визначення напружено-деформованого стану матеріалу конструкцій із феромагнітних матеріалів, зокрема в різних зонах зварних з'єднань. Спосіб може бути використаний для оцінки працездатності відповідальних конструкцій у різних галузях господарчої діяльності (хімічна і нафтогазова промисловість, енергетика, трубопровідний транспорт тощо).

Відомі способи - аналоги для визначення напружень у феромагнітних матеріалах, при яких напруження визначають неруйнівним способом шляхом вимірювання коерцитивної сили під час перемагнічування контрольованої ділянки об'єкту контролю. При цьому використовують відповідну кореляцію коерцитивної сили і напруження [1, 2].

Недоліком аналога є велика похибка в умовах, коли змінюється не тільки напруження, а і структурний стан матеріалу. Тобто коерцитивна сила є структурно-чутливим параметром, який часто використовують для контролю змін структури матеріалу [3, 4], тому на основі вимірювання тільки коерцитивної сили вилив напружень і змін структури неможливо розділити. Це обмежує також область застосування відомого способу.

Відомі аналоги для неруйнівного контролю феромагнітних матеріалів, які побудовані на перемагнічуванні контрольованої ділянки об'єкта контролю і вимірюванні магнітних шумів Баркгаузена [5-8]. Ці аналоги побудовані на кореляції магнітних шумів Баркгаузена зі структурними властивостями матеріалів [9].

Недоліком аналогів є недостатня достовірність контролю, так як на параметри шумів Баркгаузена одночасно впливають структурний стан і напруження матеріалу. Це може призводити до похибок під час визначення змін структури в умовах діючих і залишкових напружень, що має місце, зокрема, під час контролю зварних швів. Неможливість роздільного визначення структурних параметрів і напружень не дозволяє дати об'єктивну оцінку стану контрольованого об'єкта.

Відомий аналог є спосіб, коли вимірювання параметрів шумів Баркгаузена використовують для визначення напружень [10]. Недоліком цього способу є недостатня достовірність контролю, так як на параметри шумів Баркгаузена впливає не тільки напруження матеріалу, а і його структурний стан. Це може призводити до похибок під час визначення діючих і залишкових напружень в умовах, коли одночасно може змінюватись структура матеріалу.

Неможливість роздільного визначення впливу структури і напружень не дозволяє дати об'єктивну оцінку стану контрольованого об'єкта.

Найбільш близьким аналогом до корисної моделі є спосіб для визначення напружень розтягу в загартованому матеріалі на основі одночасного визначення коерцитивної сили і параметрів шумів Баркгаузена [11]. Спосіб полягає у перемагнічуванні контрольованого матеріалу і вимірюванні різних структурно-чутливих параметрів магнітних шумів Баркгаузена і коерцитивної сили, одного із параметрів гістерезисної петлі перемагнічування. За рахунок врахування коерцитивної сили і параметрів шумів Баркгаузена досягнуто заглушення впливу змін структури в зоні загартування на точність визначення напружень.

Недоліками найближчого аналога є невисока достовірність контролю напруженого стану в умовах невідомого структурного стану матеріалу або контролю змін структури за наявності напружень, оскільки напруження і зміни структури впливають на коерцитивну силу і шуми Баркгаузена, тобто на обидва вимірювані параметри. Це ускладнює інтерпретацію отриманих результатів.

В основу корисної моделі поставлена задача розширення функціональних можливостей способу і підвищення точності визначення напружень і структурних змін матеріалу конструкцій із феромагнітних сталей.

Поставлена задача вирішується тим, що під час реалізації способу комплексного електромагнітного контролю структурного і напружено-деформованого стану феромагнітних матеріалів, який полягає у перемагнічуванні контрольованого матеріалу і визначенні структурно-чутливого магнітного параметра, за яким визначають стан контрольованого матеріалу, згідно з корисною моделлю, додатково визначають параметри анізотропії магнітних властивостей контрольованого матеріалу, які використовують для визначення напруженого стану матеріалу, а структурний стан матеріалу визначають за структурно-чутливим магнітним параметром при визначеному значенні напруження матеріалу в зоні контролю. При цьому попередньо перед проведенням контролю виконують процедуру калібрування. Для цього виготовляють зразки із контрольованого матеріалу, проводять обробку зразків з метою формування різної структури матеріалу, формують в зразках з різною структурою матеріалу напруження розтягу і/або стиску, визначають параметри анізотропії магнітних властивостей, а

також відповідні значення структурно-чутливого магнітного параметра, які використовують для побудови відповідних калібрувальних залежностей.

При цьому як структурно-чутливі магнітні параметри можуть бути використані параметри магнітних шумів Баркгаузена, зокрема їх максимальна амплітуда.

5 Як структурно-чутливий магнітний параметр можна використати також параметри гістерезисної петлі перемагнічування, зокрема значення коерцитивної сили. При цьому коерцитивну силу можна визначити за величиною поля перемагнічування, за якого амплітуда шумів Баркгаузена є максимальною.

10 Рівень магнітної анізотропії можна визначити вихрострумовим способом. При цьому можна збуджувати вихрові струми за допомогою однієї або декількох обмоток індуктивності, а рівень магнітної анізотропії визначати за різницею амплітуд складових вторинного електромагнітного поля у двох точках, в яких напрямки збуджених вихрових струмів є ортогональними.

Різну структуру матеріалу зразків для калібрування можна формувати вибором різних режимів термообробки зразків.

15 Напруження розтягу і/або стиску зразків з різною структурою матеріалу можна формувати в поверхневих шарах зразків. При цьому робочу частоту збуджених вихрових струмів слід вибирати такою, щоб глибина проникання вихрових струмів не перевищувала товщину напруженого шару. Зокрема, напруження розтягу і/або стиску можна формувати чистим вигином за чотириточковою схемою навантаження, а вимірювання параметрів магнітної анізотропії і
20 структурно-чутливого магнітного параметра для побудови калібрувальних залежностей проводити в центральній частині зразків.

Корисна модель пояснюється кресленнями.

На фіг. 1 представлено гістерезисну петлю перемагнічування $B-H$ і відповідний розподіл $A=f(H)$ шумів Баркгаузена.

25 На фіг. 2 представлено схему чотириточкового навантаження силами P для формування калібрувальних напружень чистим згином і розподіл моментів M згину по довжині зразка.

На фіг. 3 представлено залежність сигналу перетворювача магнітної анізотропії U в умовних величинах від напружень розтягу для сталі 65 Г у відпаленому (Δ) і загартованому (\circ) стані.

30 На фіг. 4 представлено схему реалізації запропонованого способу комплексного електромагнітного контролю структурного і напружено-деформованого стану феромагнітних матеріалів, де наведено залежність $U=f(\sigma)$ сигналів давача магнітної анізотропії (крива 1) і максимальної амплітуди A_m шумів Баркгаузена для різних структурних станів матеріалу (криві 2-4) від напруження σ .

35 Розглянемо приклад реалізації способу, коли як інформаційний структурночутливий параметр використана максимальна амплітуда шумів Баркгаузена. Необхідно зазначити, що можуть бути використані інші параметри шумів Баркгаузена, які також є структурно-чутливими, зокрема інтегральний параметр - площа кривої розподілу $A=f(H)$. Петля перемагнічування $B-H$ контрольованої зони матеріалу і розподіл $A=f(H)$ шумів Баркгаузена схематично представлена на фіг. 1. Видно, що максимальна амплітуда A_m відповідає моменту, коли поле H дорівнює коерцитивній силі H_c ($B=0$). Ця закономірність може бути використана і для іншого варіанта реалізації способу, коли як структурночутливий параметр використовують коерцитивну силу.

40 Розглянемо випадок, коли для формування калібрувальних напружень використана схема чотириточкового навантаження силами P чистим згином (фіг. 2). Перевагою такої схеми навантаження є можливість формування напружень двох типів (стиску і розтягу). Крім того, із розподілу моментів M згину по довжині зразка видно, що в центральній зоні зразка формується однорідний розподіл напружень. Це створює переваги під час калібрування, так як сигнали вимірювальних давачів не будуть залежати від їх положення на зразку, тобто не потрібна висока точність встановлення давачів різного типу під час вимірювання.

45 Перевагою корисної моделі є використання для визначення знаку і величини напружень способу, побудованого на визначенні магнітної анізотропії матеріалу в зоні контролю. Цей метод оснований на дії магнітопружного ефекту, який полягає в зміні складових магнітних властивостей матеріалу, зокрема магнітної проникності під впливом напружень. За рахунок дії цього ефекту магнітна анізотропія матеріалу збільшується зі збільшенням напруження. Необхідно мати на увазі, що має місце також текстурна складова магнітної анізотропії
50 матеріалу, яку можна врахувати під час калібрування. Такі вимірювання можуть бути проведені вихрострумовим методом. При цьому необхідно визначити різницю між значеннями вторинного електромагнітного поля вихрових струмів в двох точках, де напрямки вихрових струмів є ортогональними. Вторинне електромагнітне поле в таким чином вибраних точках вимірювання буде залежати від складових магнітних властивостей в напрямку протікання вихрових струмів,
55 які, в свою чергу, залежать від прикладених чи залишкових напружень. Під час встановлення
60

вихрострумове давача магнітної анізотропії на зразок за умови нульових напружень на виході буде спостерігатися сигнал, пов'язаний з текстурною складовою магнітної анізотропії матеріалу і не ідеально однаковою чутливістю зондів вимірювання вторинного поля. Пов'язана з цими факторами похибка має адитивний характер і може бути компенсована процедурою встановлення нуля під час калібрування. Вихідний сигнал вихрострумове давача магнітної анізотропії, в принципі, може бути визначений шляхом підключення такого давача до стандартних вихрострумових дефектоскопів, наприклад типу ВД 3-81 фірми "Промприлад" (Київ) [12]. Компенсація адитивної похибки і встановлення нуля в цьому приладі можуть бути реалізовані автоматично при встановленні давача на розвантажений зразок операцією "Баланс".

Принципово важливою особливістю способу вимірювання напружень на основі визначення параметрів магнітної анізотропії є незалежність сигналів давача магнітної анізотропії від структури феромагнітного матеріалу. Це підтверджує отримана нами залежність сигналу давача магнітної анізотропії U в умовних величинах від напружень розтягу у відпаленому (Δ) і загартованому (σ) станах (фіг. 3). Під час термообробки зразки із сталі 65Г перерізом 30×2 мм нагрівали до температури 830 °С, після чого один зразок витримували в печі до охолодження (відпал), а інший гартували в маслі. В результаті формувалася принципово різна структура сталі. Зразки в процесі вимірювань параметрів магнітної анізотропії навантажували на розривній машині силою до 3000 кгс, що дозволило створити напруження до 500 МПа. Видно, що для обох зразків сигнали давача магнітної анізотропії практично (в межах точності вимірювання) співпадають. Сигнали давача магнітної анізотропії на фіг. 3 мають позитивне значення, так як розривна машина створювала тільки напруження розтягу, а значення інформаційного сигналу давача на розвантажений зразок було встановлене рівним нулю.

Реалізація корисної моделі під час визначення структурного і напружено-деформованого стану феромагнітних матеріалів на об'єкті контролю демонструється за допомогою схеми на фіг. 4. Вважаємо, що процедура калібрування проведена і отримані відповідні залежності параметру U магнітної анізотропії від напружень стиску і розтягу (крива 1) і залежності максимальної амплітуди A_m шумів Баркгаузена від напружень стиску і розтягу для різних структурних станів матеріалу (криві 2-4). В процесі контролю визначимо значення параметра магнітної анізотропії матеріалу конструкції в зоні контролю і отримаємо, наприклад, значення сигналу давача магнітної анізотропії U_B . Зауважимо, що після встановлення нуля на розвантаженому зразку, напруження стиску будуть давати від'ємне значення сигналу давача магнітної анізотропії (фіг. 4). Тобто за знаком сигналу можна визначити також тип напруження - розтягу чи стиску. Згідно з залежністю $U=f(\sigma)$ (крива 1 на фіг. 4) визначаємо напруження σ_B матеріалу в точці контролю. Тепер визначаємо значення максимальної амплітуди шумів Баркгаузена матеріалу конструкції в зоні контролю і отримаємо, наприклад, значення A_B . Для визначеного значення напруження σ_B і параметра A_B визначаємо криву (від 2-ої до 4-ої), яка відповідає структурному стану контролюваного матеріалу. Більш точно можна визначити структурний стан, якщо наперед побудувати залежності максимальної амплітуди шумів Баркгаузена від структурних параметрів матеріалу, наприклад розміру зерен або фазового складу, для різних напружень.

Корисна модель 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. Це, зокрема, важливо під час контролю експлуатаційних змін структури відповідальних конструкцій (зокрема, в теплотехніці) в умовах дії експлуатаційних навантажень чи залишкових напружень.

Джерело інформації:

1. Мужицкий В.Ф., Попов В.Е., Безлюдько Г.Я. Магнитный контроль напряженно-деформированного состояния и остаточного ресурса стальных металлоконструкций подъемных сооружений и сосудов, работающих под давлением // Дефектоскопия, 2001, № 1, С. 38-46.

2. Патент РФ. Способ определения напряжений в ферромагнитных материалах на железной основе / Качанов Н.Н.; Дегтерев А.П.; Орлова М.Н.; Качанов Е.Н. и др. Опубл.: 1995.05.20.

3. Назарчук З.Т., Рыбачук В.Г., Учанин В.Н. Электромагнитная структуроскопия конструкционных материалов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. - 2011. - № 1. - С. 8-16.

4. Магнітна діагностика мікроструктурної деградації та накопичення пошкоджуваності в сталі парогонів / Осташ О.П., Вольдемаров О.В., Федоришин О.А., Гладиш П.В., Безлюдько Г.Я., Учанин В.М. // Фізичні методи та засоби контролю середовищ, матеріалів та виробів. - Вип. 12:

Неруйнівний контроль та технічна діагностика матеріалів та конструкцій. - Львів: Фізико-механічний ін-т ім. Г.В. Карпенка НАН України. 2007. - С. 46-52.

5. Авт. свид. № 461346, Спосіб магнитошумовой структуроскопии / В.Г. Пустынников, В.М. Васильев, 1975, Бюл. № 7.

5 6. Авт. свид. № 532803, Спосіб магнитошумовой структуроскопии / В.М. Васильев, В.В. Попова, 1977, Бюл. № 42.

7. Авт. свид. № 697907, Спосіб магнитошумовой структуроскопии / В.М. Васильев, Л.В. Андрианова, 1979, Бюл. № 42.

8. Авт. свид. № 934353, Спосіб магнитошумовой структуроскопии / В.Л. Венгринович, В.Н. Бусько, В.Л. Цукерман, 1982, Бюл. № 21.

9. Горкунов Э.С., Драгошанский Ю.И., Миховски М. Эффект Баркгаузена и его использование в структуроскопии ферромагнитных материалов. Обзор 3. Влияние размеров кристаллического зерна // Дефектоскопия, 1999, № 8. - С. 4-25.

10 10. Patent USA № 4634976, G01N27/82, Barkhausen noise method for stress and defect detecting in hard steel // Seppo Titto, appl. № 539006, filed 4.10.1983, publ. 6.01.1987,-12 P.

11. 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.

20 12. Dshaganjan A., Uchanin V., Opanasenko A., Lutsenko G. New portable eddy current flaw detector and application examples // 11-th Europ. Conf. on NDT. - Prague. - 2014 (www.ndt.net).

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

25 1. Спосіб комплексного електромагнітного контролю структурного і напружено-деформованого стану ферромагнітних матеріалів, що полягає у перемагнічуванні контрольованого матеріалу, визначенні структурно-чутливого магнітного параметра, за яким визначають стан контрольованого матеріалу, який **відрізняється** тим, що додатково визначають параметри анізотропії магнітних властивостей контрольованого матеріалу, які використовують для визначення напруженого стану матеріалу, а структурний стан матеріалу визначають за структурно-чутливим магнітним параметром при визначеному значенні напруження матеріалу в зоні контролю; попередньо перед проведенням контролю виконують процедуру калібрування, для чого виготовляють зразки із контрольованого матеріалу, проводять обробку зразків для формування різної структури матеріалу, формують в зразках з різною структурою матеріалу напруження розтягу і/або стиску, визначають параметри анізотропії магнітних властивостей, а також відповідні значення структурно-чутливого магнітного параметра, які використовують для побудови відповідних калібрувальних залежностей.

2. Спосіб за п. 1, при якому як структурно-чутливий магнітний параметр використовують параметри магнітних шумів Баркгаузена.

40 3. Спосіб за пп. 1, 2, при якому як параметр магнітних шумів Баркгаузена використовують їх максимальну амплітуду.

4. Спосіб за п. 1, при якому як структурно-чутливий магнітний параметр використовують параметри гістерезисної петлі перемагнічування.

5. Спосіб за пп. 1, 4, при якому як параметр гістерезисної петлі перемагнічування використовують значення коерцитивної сили.

6. Спосіб за пп. 1, 2, 3, 4 і 5, при якому параметр гістерезисної петлі перемагнічування - коерцитивну силу визначають за величиною поля перемагнічування, за якого амплітуда шумів Баркгаузена є максимальною.

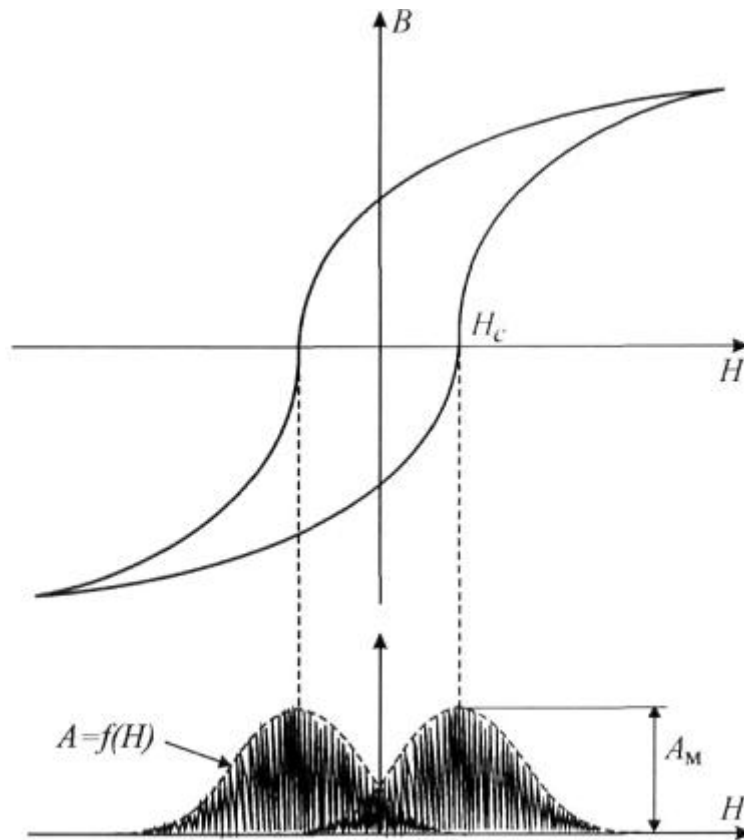
7. Спосіб за п. 1, при якому рівень магнітної анізотропії визначають вихрострумовим методом.

50 8. Спосіб за пп. 1, 7, при якому в зоні контролю збуджують вихрові струми за допомогою однієї або декількох обмоток індуктивності, а рівень магнітної анізотропії визначають за різницею амплітуд складових вторинного електромагнітного поля вихрових струмів в двох точках, в яких напрямки збуджених вихрових струмів є ортогональними.

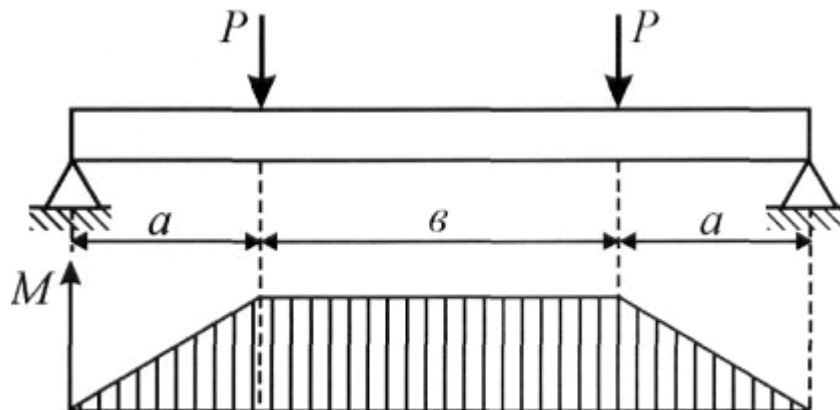
9. Спосіб за п. 1, при якому різну структуру матеріалу зразків для калібрування здійснюють вибором різних режимів термообробки зразків.

55 10. Спосіб за п. 1, при якому напруження розтягу і/або стиску зразків з різною структурою матеріалу формують в їх поверхневих шарах, а робочу частоту збуджених вихрових струмів вибирають такою, щоб глибина проникання вихрових струмів не перевищувала товщину напруженого шару.

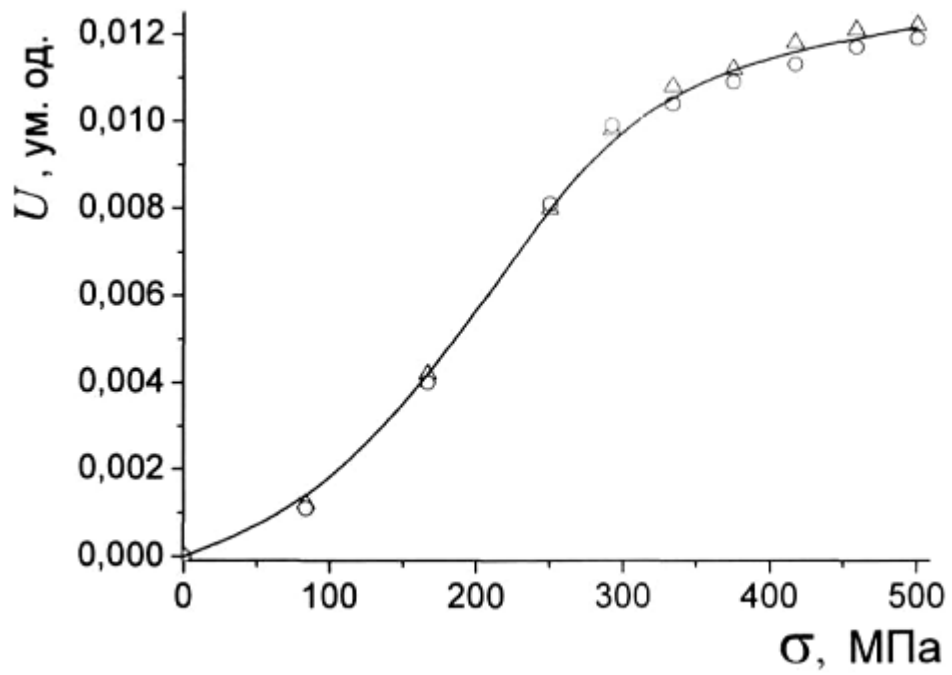
11. Спосіб за пп. 1, 10, при якому напруження розтягу і/або стиску формують чистим вигином за чотириточковою схемою навантаження, а вимірювання параметрів магнітної анізотропії і структурно-чутливого магнітного параметра для побудови калібрувальних залежностей проводять в центральній частині зразків.



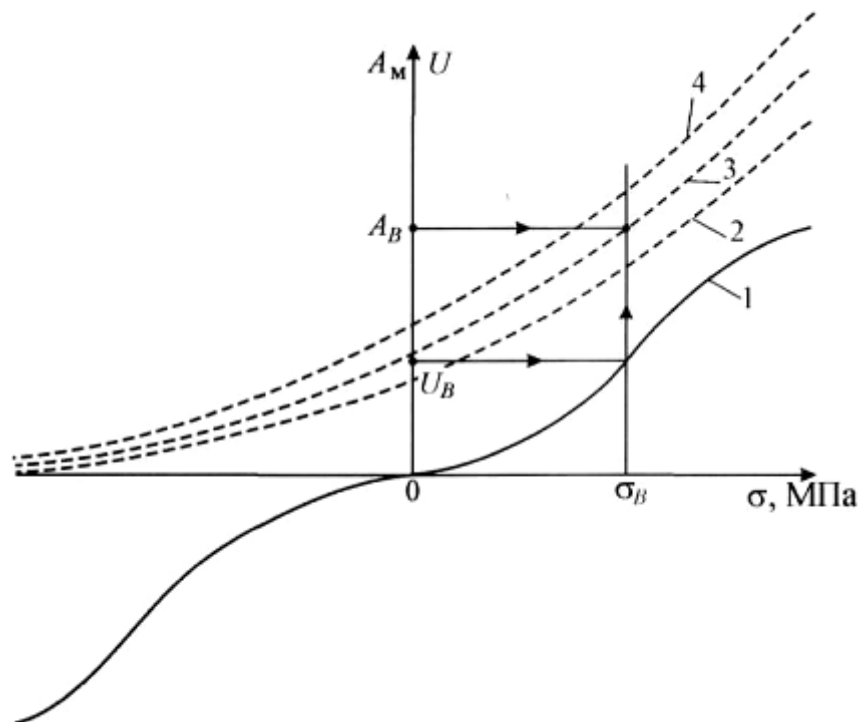
Фиг. 1



Фиг. 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