

УДК 001.891.5

**МЕТОД КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ МЕТАЛОВИРОБІВ,  
ЗАСНОВАНИЙ НА ВИМІРІ КОЕРЦИТИВНОЇ СИЛИ**

Скобло Т. С., Клочко О. Ю., Бурцев С. О., Листопад О. І.,  
Безлюдько Г. Я.\* , Тріщ Р. М.\*\*

Харківський національний технічний університет  
сільського господарства ім. П. Василенка, м. Харків, Україна  
\*ООО фірма "Специальные научные разработки"

\*\*Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, Україна

*Розглянуто метод неруйнівного контролю оцінки механічних властивостей і структурних характеристик виробів, виготовлених з феромагнітних марок сталей та сплавів, за магнітними характеристиками, заснований на вимірі коерцитивної сили. Визначено групу чинників, сприяючих можливим відхиленням показників вимірювань*

**Ключові слова:** коерцитивна сила, неруйнівний контроль якості, статистичний метод, причини відхилення результатів вимірювання

**Постановка задачі.** Важливим чинником в забезпеченні стабільної якості використання деталей машин є застосування 100% їх контролю. До числа таких методів, в першу чергу, слід віднести контроль за магнітними характеристиками металу деталей, заснований на вимірі коерцитивної сили. Цей метод відноситься до статистичних і неруйнівних методів контролю оцінки механічних властивостей і структурних характеристик виробів. Він відрізняється від класичної дефектоскопії тим, що використовується не тільки для виявлення та оцінки по розміру дефектів, що вже існують у виробі, але призначений для попередження розвитку дефектів, викликаних статичними напруженнями, циклічними навантаженнями і динамічними ударами. Використання даного методу дозволяє проводити контроль якості виробів, виготовлених з феромагнітних марок сталей та сплавів, в тому числі чавунів, методами лиття, кування, прокаткою, точінням, штамповкою, зварюванням та різними засобами зміцнення (поверхнево-пластичним деформуванням, термічною та хіміко-термічною обробками, нанесенням покриттів).

Неруйнівний контроль за магнітними характеристиками доцільно використовувати для: вхідного контролю металопрокату; контролю стабільності технології виробництва та вихідного контролю деталей; простого та ефективного вхідного контролю якості деталей на підприємствах; прогнозування залишкового ресурсу металу деталей; первинного оцінювання параметрів статистичних вимірювальних характеристик та наступних контрольних процесів при відновленні деталей; встановлення зв'язку між магнітними та механічними властивостями металу (твердість, міцність, пластичність та інші); оцінювання зв'язку магнітних характеристик зі структурою (фазовим складом; розміром зерен, дендритів у відливках; евтектичних зерен, неметалевих включень, формою виділення графіту, його вмісту; коефіцієнтом анізотропії структури та

властивостей); виявлення зон з відхиленнями по структурі робочого шару деталей за рахунок ліквідації хімічних компонентів та нерівномірної кристалізації фаз, порожнин, пор; встановлення зв'язку з глибиною відпаленого, зміцненого, знеуглецьованого та зношеного шару; оцінки якості зварних з'єднань різних типів і конструктивного виконання; визначення зон та рівня напружень, які можуть бути джерелами розвитку пошкоджень, що виникли при порушенні умов експлуатації, після неякісно виконаного ремонту і відновлення деталей; експрес-сортування деталей по їх структурі і якісним показникам при комплектуванні вузлів, які ремонтуються.

Фізична суть методу дуже проста і полягає в наступному: якщо знімати петлю магнітного гістерезису з різних феромагнітних марок сталей та сплавів, можна побачити, що магнітні характеристики дозволяють розрізнити їх як по магнітній індукції, так і по коерцитивній силі, рис. 1.

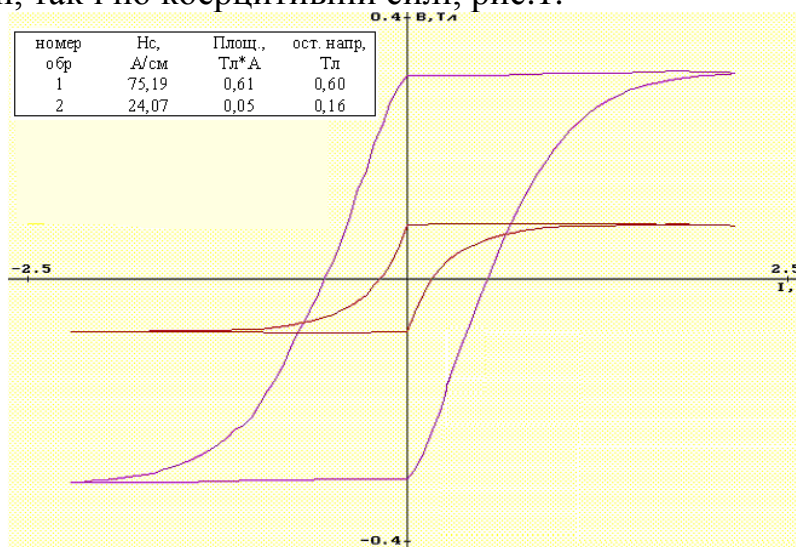


Рис. 1 Розходження між петлею гістерезису низьковуглецевої (петля з меншою площею) і високоміцної низьколегованої сталі, що дозволяють визначити структурні складові виробу та механічні властивості [1]

**Основна частина.** Для переходу от неруйнівного контролю сплава за магнітними характеристиками до здавальних механічних випробувань, для кожної його марки проводять одночасно випробування іншими стандартними методами, що оцінюють властивості і структуру метала, а потім використовують отримані взаємозв'язки для атестації готової продукції.

Фахівцями університету було розроблено стандарт [2], який встановлює загальні правила та рекомендації з контролю якості та ресурсу за магнітними характеристиками металу деталей, виготовлених з феромагнітних марок сталей та сплавів, в тому числі чавунів. Стандарт встановлює основні принципи оцінки якості деталей сільськогосподарських машин при їх виготовленні, входному-вихідному контролі, ремонті та прогнозуванні остаточного ресурсу металопродукції під час технічного обслуговування. Стандарт спрямований на забезпечення не менш ніж 80% ресурсу відновлених та відремонтованих деталей.

Згідно [2] неруйнівний контроль якості за магнітними характеристиками

використовується у випадках, коли має місце стабільний парний або множинний ймовірний зв'язок між показниками якості, які контролюються, та магнітними характеристиками деталей, виготовлених зі сталей та сплавів.

Значення показників якості, оцінені магнітним методом для деталей, що підлягають використанню, а також ремонту та відновленню, повинні мати коливання властивостей від їх середнього рівня  $<10\%$  (довірча ймовірність не нижче 0,9 для сплавів та 0,95 для сталей). При цьому кореляційну залежність між магнітними характеристиками та показниками властивостей слід встановлювати на основі інформаційного масиву залежно від типу деталей (форми поверхні, що аналізується), їх матеріалу (хімічного складу), способу зміцнення, виробника, методу ремонту або відновлення.

Оцінювання необхідно проводити на одних і тих же місцях деталей в різних зонах. Відстань між вимірюваннями магнітних характеристик, структури та властивостей визначається розміром не менш 0,5 зони, що аналізується накладним перетворювачем. Для встановлення бракувальних норм необхідно мати масив даних з 50 значень, одержаних не менше ніж на 10 деталях.

При оцінюванні показників магнітних властивостей на поверхні зміцнених шарів деталей слід враховувати первинну структуру матеріалу, яка впливає на результати контролю.

Для оцінки механічних властивостей деталей можливо використовувати зразки. В цьому випадку слід забезпечити елементи подібності, які наближаються до реальних умов експлуатації, технологій ремонту та відновлення деталей.

Рівень показників магнітних характеристик (бракувальна норма) може бути визначений на підставі кореляційних залежностей з показниками властивостей, що оцінюються.

Для неруйнівного контролю якості, згідно [2], використовують прилади, які вимірюють одну чи декілька структурно-чутливих характеристик з основною похибкою не більш ніж 5% в робочому діапазоні вимірів.

Основними характеристиками неруйнівного контролю якості магнітним методом є: коерцитивна сила, намагніченість насичення, залишкова магнітна індукція, магнітна проникність. Рівень властивостей оцінюють і характером петлі магнітного гістерезису.

В залежності від товщини об'єкту, що вимірюється, використовують різні за розміром полюси магнітів, які мають плоску або відповідну вимірювальному об'єкту форму.

Метод дозволяє контролювати деталі з кривизною поверхні будь-якого порядку. При проведенні вимірів контакт полюсів датчика (перетворювача) повинен однаково контактувати з деталлю. Оцінювати слід зони з однаковою товщиною деталі та способом зміцнення.

Порівняння результатів слід проводити по однаковій кривизні поверхні, а також при вимірюванні однотипними перетворювачами (розмірами полюсів магнітів та відстані між ними).

Якість поверхонь деталей (шорсткість, після механічної обробки, наявність пригару та окислів після термічної обробки з товщиною шару  $< 3\text{мм}$ ) не

впливають на показники (характеристики) магнітних властивостей, що оцінюються. Шуми та вібрації також не впливають на результати вимірів.

Для статистичної обробки результатів вимірювань з множини параметрів, що складають похідну інформацію, умовно формують групу факторів (робочий масив), що вміщують всі робочі змінні показники та оцінювані властивості.

Значення показників якості, що не несуть інформації у контексті вирішуваного завдання, а також відповідні їм значення незалежних змінних з вибірки слід виключити. В такому разі статистичні характеристики перераховують. Виключення значень, що різко відрізняються, здійснюється зважаючи на кількісний та якісний аналіз вибірки.

Як статистичний метод встановлення зв'язку між залежною змінною середнього значення спостережень при простій випадковій вибірці  $Y$  і сукупністю показників ( $X_k$ ) використовується покроковий метод побудови множинної регресії, що дозволяє включати або виключати незалежні змінні  $X_k$ , в порядку їх значущості.

Оцінка параметрів виконується для лінійних та лінеаризованих моделей згідно методу найменших квадратів. Зупинитися слід на тій з побудованих моделей, яка має надійні оцінки за критерієм Стюдента, коефіцієнтів регресії, надійну оцінку за критерієм Фішера множинного коефіцієнта кореляції, найменшу стандартну похибку оцінки моделі, достатньо високий коефіцієнт множинної кореляції  $r$ , як показник детермінованості взаємозв'язку цільової змінної  $Y$  з незалежними змінними  $X$ , а також має склад змінних  $X$  прийнятний в контексті задачі, що вирішується.

У випадку, якщо яка-небудь із статистичних характеристик контрольного процесу за результатами вимірювань признається непринятною, необхідно проаналізувати причини відхилення результатів вимірювань. В стандарті [2] були визначені основні чинники можливих відхилень показників.

Але останнім часом було визначено ще ряд чинників, сприяючих можливим відхиленням показників вимірювань, яких не було включено до [2]. Такими чинниками можуть бути:

- невірний вибір перетворювача коерцитиметра, що не дозволяє оцінювати показники коерцитивної сили по глибині зразка;
- неврахування анізотропії властивостей досліджуваних виробів;
- неврахування залежності показників коерцитивної сили від ступеню контакту перетворювача з досліджуваним виробом;
- присутність поверхневих дефектів в місці вимірювання

Відзначені чинники, які можуть сприяти відхиленням вимірів та способи їхнього усунення, є доповненнями до стандарту [2] і викладені в патенті, що у цей час перебуває в процесі реєстрації. Ці чинники можуть бути віднесені до групи невірної методики проведення вимірювань.

Схематично групи чинників відхилень процесу, що контролюється, а також додаткові, представлені на рис. 2:

- невідповідності деталей вимірюванням; невідповідності засобів вимірювань;

- невірна методика обслуговування і ремонту засобів вимірювань.
- нестабільність характеристик, пов'язаних з конструкцією засобів вимірювань.
- необхідність обслуговування / ремонту або модернізації засобу вимірювань;
- слаба фіксація засобу накладного перетворювача;
- невірна методика проведення вимірювань.

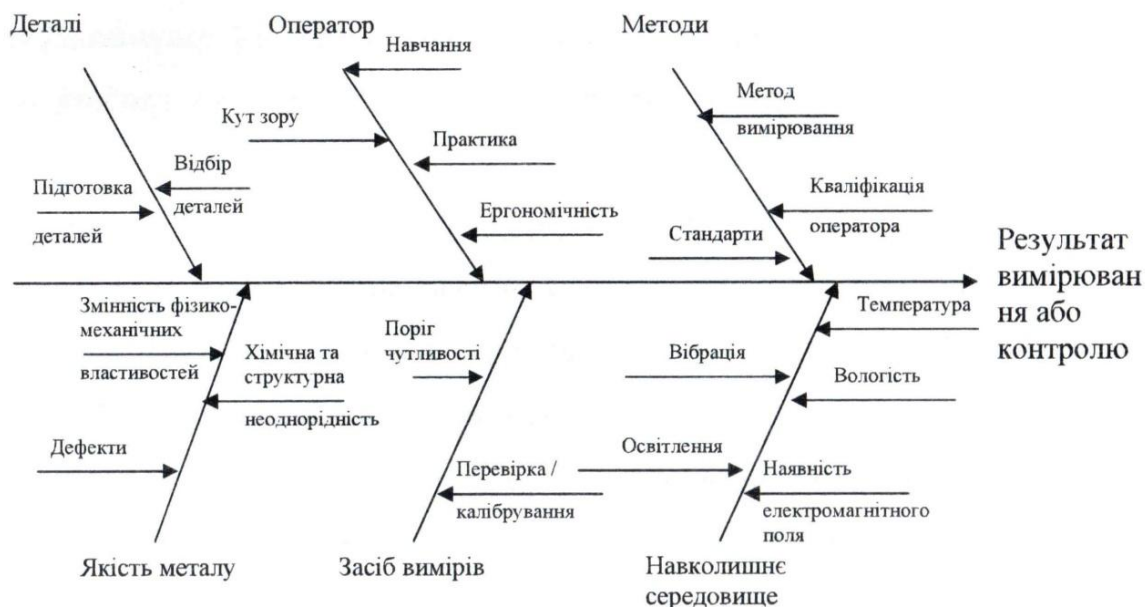


Рис. 2 Групи чинників відхилення результатів вимірювання

## Висновки.

1. Метод контролю за магнітними характеристиками металу деталей, заснований на вимірі коерцитивної сили відноситься до статистичних і неруйнівних методів контролю оцінки механічних властивостей і структурних характеристик виробів, виготовлених з феромагнітних марок сталей та сплавів, в тому числі чавунів. Він призначений для попередження розвитку дефектів, викликаних статичним напруженням, циклічними навантаженнями і динамічними ударами.

2. Використання магнітної структуроскопії для контролю якості виробів суттєво здешевлює та прискорює їх обстеження.

3. Визначено групу чинників, сприяючих можливим відхиленням показників вимірювань

## Література

1. Крутикова Л. Оценка остаточного ресурса металлоконструкций магнитным методом // Металлические Здания №1 [5], 2008. – С.30-31.

2. Неруйнівний контроль якості магнітним методом деталей сільськогосподарських машин при технічному обслуговуванні та ремонті. СОУ 29.32.4-37-532:2007/ Т. Скобло, О. Сідашенко, В. Власовець, Г. Безлюдько та інш.// Мінагрополітики України. – Київ. – 2007.- 24с

Скобло Т. С., Клочко О. Ю., Бурцев С. О., Листопад О. И., Безлюдько Г. Я., Трищ Р. М

## **МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ, ОСНОВАННЫЙ НА ИЗМЕРЕНИИ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ**

*Рассмотрен метод неразрушающего контроля оценки механических свойств и структурных характеристик изделий, изготовленных из ферромагнитных марок сталей и сплавов, по магнитным характеристикам, основанный на измерении коэрцитивной силы. Определено группу факторов, влияющих возможным отклонениям показателей измерений.*

**Ключевые слова:** коэрцитивная сила, неразрушающий контроль качества, статистический метод, причины отклонения результатов измерений

Skoblo T. S., Klochko O. J., Burtsev S. A., Listopad A. I., Bezludko G. Y., Trishch R. M.

## **MONITORING OF QUALITY OF THE METALWARE, BASED ON MEASUREMENT KOERCITIVE FORCES**

*The method of not destroying control of an estimation of mechanical properties and structural characteristics of the products made from ferromagnetic of marks of steels and alloys, under the magnetic characteristics, based on measurement koercitive forces is considered. It is defined group of the factors, indicators of measurements influencing to possible deviations.*

**Key words:** koercitive forces, not destroying quality assurance, a statistical method, reasons for rejection of results of measurements

## **Сведения об авторах:**

1. **Скобло Тамара Семеновна**, доктор технических наук, профессор. Украина, г. Харьков, 61002, ул. Артема, 44. Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П.Василенко. к.тел.: +380672894098, р.+380577329854, д.+380577313788.

2. **Безлюдько Геннадий Яковлевич**, канд. физ.-мат. наук, директор. Украина, г. Харьков, 61121, ул.Светлая, 10, кв.16. ООО фирма "Специальные Научные Разработки". к.тел. +380577479572.

3. **Трищ Роман Михайлович**, доктор технических наук, профессор, зав. каф. «Охрана труда, стандартизация и сертификация». Украина, г. Харьков, 61003, ул. Университетская, 16. Украинская инженерно-педагогическая академия. к.тел.: +380956938597, +380577337824. e-mail: trich\_@ukr.net

4. **Клочко Оксана Юрьевна**, ассистент. Украина, г.Харьков, 61002, ул.Артема, 44. Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П.Василенко. к.тел.: +380675849545. e-mail: vklochko@yandex.ru

5. **Бурцев Сергей Алексеевич**, инженер. Украина, г.Харьков, 61002, ул.Артема, 44. Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П.Василенко. к.тел. +38097370732, e-mail: s\_burtsev@ukr.net

6. **Листопад Александра Ивановна**, аспирант. Украина, г.Харьков, 61002, ул.Артема, 44. Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П.Василенко. к.тел.: +380663172821