

СКВИД-СИСТЕМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ ДЛЯ ДЕФЕКТОСКОПИИ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СФЕРЕ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДРУГИХ ОБЛАСТЯХ ТЕХНИКИ

Поповский В.В., Павлов П.П., Павлов В.П.

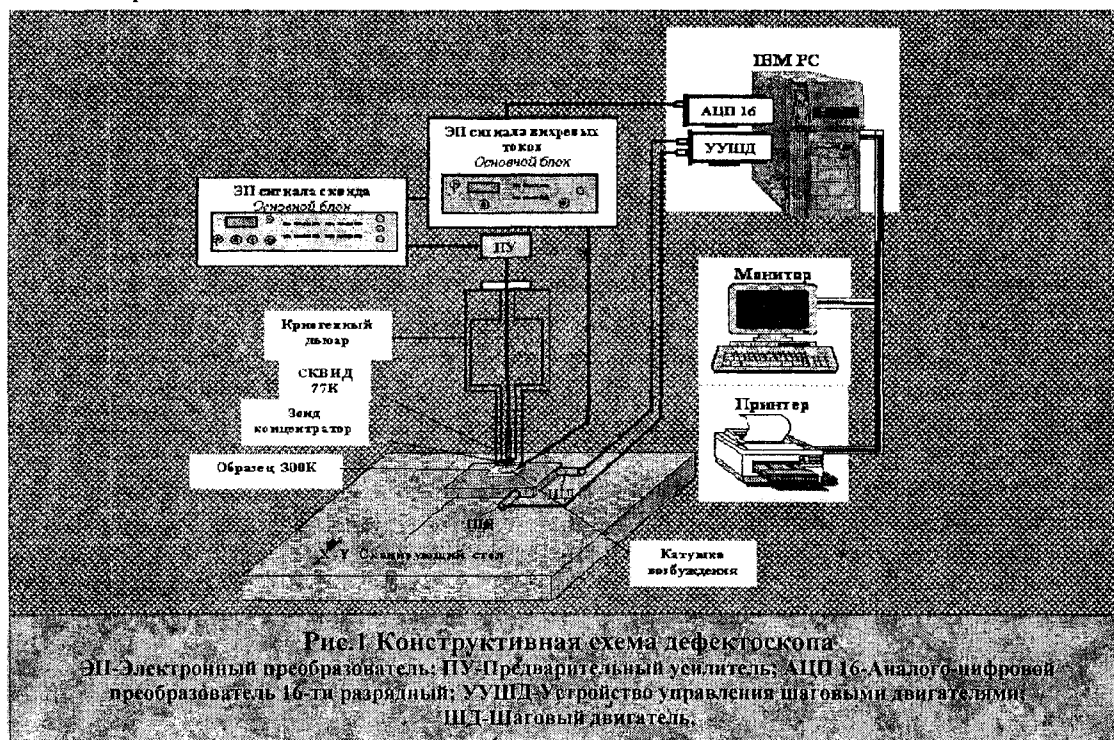
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

61166, Харьков, пр. Ленина, каф. телекоммуникационных систем, тел. (057) 702-55-92,

E-mail: TKC@kture.kharkov.ua; факс: (057) 702-13-20

The work is directed on development of the equipment nondestructive evaluation with use eddy-current systems. The SQUID system is intend for visualization to different types of defects in the sample by means of measurement of local variable magnetic fields (near to a surface of a sample), called data defects at behavior of the eddy currents. Thanks to that the given system is constructed on the basis of a magnetic SQUID-microscope the given system is constructed on the basis of a magnetic in addition to basic of a purpose it allow to work in constant magnetic fields. A measuring data to fix local discontinuity constant magnetic field including called by magnetic foreign particle in the homogeneous sample. The application HTSC SQUID's in combination with a ferromagnetic concentrator to allow improve in the systems nondestructive evaluation and detect hidden microflaws on level of the several micrometers.

Развитие оборудования неразрушающего контроля (НРК) с использованием вихретоковых систем позволяет выявлять дефекты и структурные изменения (усталостные, термоциклические, радиационные и др.) в проводящих материалах на самых ранних стадиях их возникновения. Метод основан на регистрации изменений электромагнитного поля вихревых токов наведенных обмоткой возбуждения в объекте контроля. Активная сквид-система предназначена для визуализации различных типов дефектов в образце путем измерения изменений локальных переменных магнитных полей (вблизи поверхности образца), вызванных данными дефектами, при протекании вихревых токов. Благодаря тому, что данная система дефектоскопа рис.1 построена на базе магнитного сквид-микроскопа, дополнительно к основному назначению, она позволяет работать в постоянных магнитных полях.



Данные измерения фиксируют локальные неоднородности постоянного магнитного поля, в том числе, вызванные магнитными частицами примесей в однородном образце.

Система предназначена для контроля образцов находящихся в естественных условиях при комнатной температуре, площадь зоны контроля может быть не менее $200 \times 200 \text{ мм}^2$.

В состав системы входят:

Чувствительный элемент на основе высокотемпературного сверхпроводящего (ВТСП) сквида;

Специализированный азотный криостат;

Электромагнитные экраны;

Сменные катушки возбуждения;

Двухступенчатый электромеханический сканер;

Электронные блоки для обслуживания элементов системы (сквида, генераторов, компенсаторов, фильтров, детекторов, сканеров);

Плата сбора данных;

Персональный компьютер;

Специальное программное обеспечение для управления системой, сбором данных и визуальным отображением результатов.

В качестве чувствительного элемента системы используется специальным способом спроектированный и согласованный с ВТСП сквидом магнитный концентратор [1-5].

Для создания переменного магнитного поля предполагается применения сменных катушек возбуждения адаптированных для каждого измерительного объекта. Оптимизация систем возбуждения и измерения разрешит повысить чувствительность традиционного вихретокового метода, и добиться пространственного разрешения в несколько микрометров.

Основные применения

Детектирование малоразмерных (до 10 мкм) поверхностных дефектов;

Обнаружение глубокозалегающих (до 20 мм) дефектов и включений;

Обнаружение дефектов в многослойных структурах.

Основные характеристики активной сквид-системы:

Температура образца -300 K^0 ;

Рабочая температура датчика -77 K^0 ;

Чувствительность по магнитному полю $-300 \text{ пТл/Гц}^{1/2}$;

Пространственное разрешение - около 10 мкм ;

Рабочая полоса частот вихретоковой системы – $0-10 \text{ кГц}$;

Площадь зоны контроля $-200 \times 200 \text{ мм}^2$;

Минимальный шаг сканирования по X,Y – 5 мкм

В настоящее время сквиды обладают рекордной чувствительностью по сравнению с другими типами датчиков. Тем не менее, использования для охлаждения сквидов жидкого гелия ($4,2 \text{ K}^0$) длительное время ограничивало широкое применение этих систем НРК.

Новые возможности возникли после открытия высокотемпературной сверхпроводимости и разработки ВТСП сквидов азотного уровня охлаждения (77 K^0).

ВТСП сквиды имеют чувствительность по магнитному полю около 10 фТ , при этом чувствительность по энергии достигает 10^{-28} Дж , что делает их незаменимыми для создания активных систем микродефектоскопии, в том числе с применением метода вихревых токов.

Применения оптимального построения цепей ВТСП сквида с оригинальным магнитным концентратором, позволяет достичь рекордного пространственного разрешения и выявлять скрытые микродефекты на уровне нескольких микрон, что превосходит все существующие в настоящее время вихретоковые дефектоскопы.

По сравнению с традиционными вихретоковыми методами, ультразвуковой диагностикой и радиографическим контролем, сквид система, благодаря высокой чувствительности на низких частотах, разрешает выявлять глубокозалегающие скрытые защитным слоем дефекты в проводящих материалах и конструкциях при возбуждении объекта внешним переменным магнитным полем. Кроме того, с помощью сквид-системы можно исследовать постоянные поля над поверхностью объекта. Ферромагнитные включения в немагнитной матрице (графит), повреждения в виде микротрещин в однородно намагниченных стальных деталях и др., могут быть легко визуализированы, так как вносят возмущение в картину распределения постоянных магнитных полей. Образцы визуализации некоторых тестовых дефектов в исследуемых объектах, полученные в результате их сканирования с помощью дефектоскопа, приведены на рис.2.

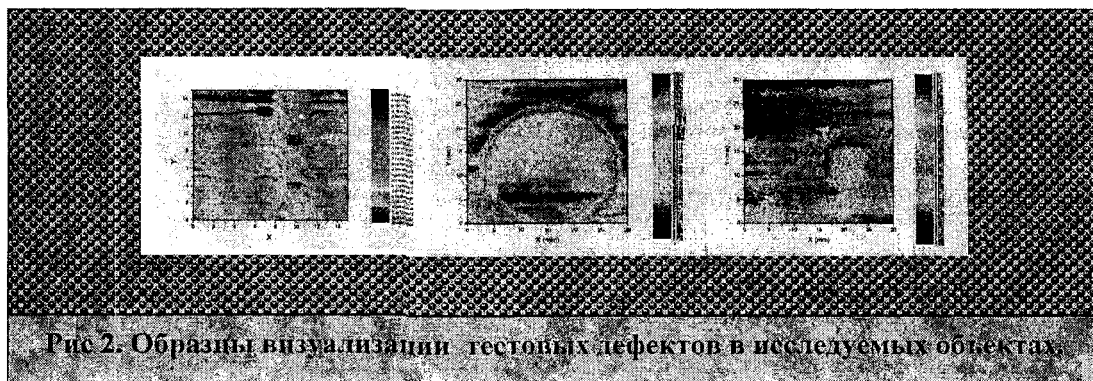


Рис 2. Образцы визуализации тестовых дефектов в исследуемых объектах.

Новое поколение систем, основанных на применении ВТСП сквидов, разрешает улучшить системы неразрушающего контроля и выявлять на более ранних стадиях структурные изменения в металлах, вызванных усталостными процессами, и обнаруживать скрытые микродефекты на уровне нескольких мкм.

Основные преимущества разрабатываемой активной сквид-системы:

Высокое соотношение сигнал-шум при тестировании на низких частотах в сравнении с традиционными электромагнитными методами;

Высокое пространственное разрешение;

Минимально слабое влияние на объект тестирования;

Отсутствие полей и излучений, вредных для окружающей среды и человека.

Системы на базе сквидов совместно с применением техники вихревых токов могут быть использованы для производства коммерческого варианта прибора, который не имеет аналогов в современной практике дефектоскопии.

Литература:

1. S. Gudoshnikov, P. Pavlov, O. Snigirev, P. Seidel. Magnetic flux guide for high-resolution SQUID microscope. IEEE Trans. On Applied Superconductivity, 2001, v.11, #1, part 1.
2. Pavlov P.P., et al. The possibility of SQUID sensitivity enhancement by the use of ferromagnetic antennae, Cryogenics 40 (2000), 313-317
3. P.P. Pavlov, S.S. Perepelkin et al. Ferromagnetic concentrator of a magnetic field for the planar HTSC SQUID, Physica C 372-376 (2002) 158-161
4. N. Nakagawa S. Bondarenko P.P. Pavlov Three channels non-force magnetic microscope. Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation. Bellingham, Washington v.22, 2002
5. Popovsky V.V., Pavlov P.P. Development of active SQUID system with use of eddy currents for defectoscopy materials applied at making of high technology technics. Kharkov National University of Radio Electronics. UCF 2007