

КОНТРОЛЬ І ДІАГНОСТИКА ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

УДК 681.7.013.8

ПРИНЦИПЫ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ И ТИПЫ ГЕНЕРАТОРОВ ЛОКАЛЬНОГО ПОЛЮСНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ДЛЯ УСТРОЙСТВ МАГНИТОГРАФИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Агалиди Ю.С., Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

Рассмотрены принципы магнитной записи с позиционно зависимым подмагничиванием для устройств магнитографического контроля, предложены технические решения генераторов локального полюсного возбуждения.

Вступление

Результаты анализа теоретической модели процесса локального полюсного возбуждения (ЛПВ) при магнитографировании [1, 2] показывают принципиальную возможность повышения чувствительности магнитной записи при магнитографическом контроле за счет использования части магнитного потока возбуждения для подмагничивания магнитного носителя.

В то же время очевидно, что условия магнитного копирования полей рассеяния объекта при магнитографическом контроле с ЛПВ имеют принципиальные отличия от традиционной магнитной записи сигналов [3-5]. В частности, генератор ЛПВ не является непосредственным источником сигнала дефекта, но служит источником возбуждения его магнитных полей рассеяния и источником поля подмагничивания при магнитной записи [1]. Таким образом, мгновенное значение амплитуды сигнала является функцией положения генератора ЛПВ [2], и, соответственно, - остаточная намагниченность для каждой точки магнитограммы также является функцией положения генератора ЛПВ. Ещё одним из факторов влияния на магнитограмму является воздействие остаточной намагниченности объекта, не учитываемое линейными моделями намагничивания [1-5].

Перечисленные обстоятельства не позволяют в полной мере использовать классические модели магнитной записи сигналов в качестве моделей процесса магнитографирования дефектов и требуют выполнения теоретических исследований, поясняющих специфику перемагничивания магнитного носителя в условиях ЛПВ.

Постановка задачи

В данной работе предстоит выполнить моделирование процесса магнитной записи полей рассеяния дефектов на промежуточный магнитный носитель, с целью определения возможных способов реализации подмагничивания и схемотехнических решений для генераторов ЛПВ.

Магнитная запись с позиционно зависимым подмагничиванием

Поскольку конечным результатом магнитографирования являются параметры записи полей рассеяния дефектов на магнитную ленту, то, очевидно, что для анализа процесса магнитной записи необходимо получить функцию напряжённости полей рассеяния дефектов в плоскости расположения магнитной ленты $H_{ix}(x)$, на основании которой определить функцию пространственного распределения остаточной намагниченности в магнитограмме $M_t(x)$.

В то же время задача построения функции $M_t(x)$ в условиях ЛПВ не является тривиальной. В схеме ЛПВ, в общем случае, перемагничивание магнитного носителя в произвольной точке МГ может носить циклический характер, обусловленный функцией напряжённости поля $H_{ix}(x; \Delta x)$ от положения генератора ЛПВ. Построение функции пространственного распределения остаточной намагниченности $M_x(x)$ магнитного носителя в данном случае требует данных нескольких результатов расчёта магнитной модели, выполняемых для экстремального случаев циклов перемагничивания.

С целью иллюстрации динамического процесса перемагничивания элементов магнитограммы при ЛПВ на рис. 1 приведены примеры функций пространственного распределения полей рассеяния дефектов $H_{ix}(x; \Delta x)$ полученные в результате моделирования 7-и последовательных положений дефекта относительно генератора ЛПВ ($\Delta x_1 \dots \Delta x_7$). Для повышения наглядности результатов, модель объекта имеет 7 однотипных дефектов (рис. 1а), расположенных в характерных сечениях профиля генератора ЛПВ. Такой иллюстративный подход, позволяющий заменить несколько моделей положений генератора ЛПВ относительно дефекта, разумеется, вносит некоторые искажения в картину полей рассеяния, но, в то же время, позволяет наглядно оценить значения $H_{ix}(x)$ в зависимости от положения генератора ЛПВ (рис. 1в).

Моделирование процесса намагничивания выполнялось в программе ELCUT 5.1 [4]. Решение задачи магнитостатики в нелинейной постановке выполнялось методом конечных элементов с использованием уравнения Пуассона для векторного магнитного потенциала.

Исследование функции $H_{ix}(x)$ показывает наличие локальных максимумов в области центров дефектов в поз. 1-7 рис. 1в) (глобальные максимумы в области кромок генератора ЛПВ поз. 3 и 5), а также наличие асимметричных отрицательных минимумов в области кромок дефектов в поз. 1,2,6,7 (поглощённых в области зазора генератора ЛПВ поз. 3-5). Результаты моделирования схемы ЛПВ для бездефектной области представлены функцией пространственного распределения полей рассеяния объекта $H_{ix}(x)$ рис. 1б. Исследование функции $H_{ix}(x)$ для бездефектной области (рис. 1г), показывает наличие двух симметричных глобальных максимумов в области кромок генератора ЛПВ в поз. 3 и 5 (разделённых локальным минимумом области центра зазора генератора ЛПВ поз. 3 и 5), а также наличие симметричных локальных минимумов в области наружных (габаритных) поверхностей генератора ЛПВ поз. 1,2 и 6,7.

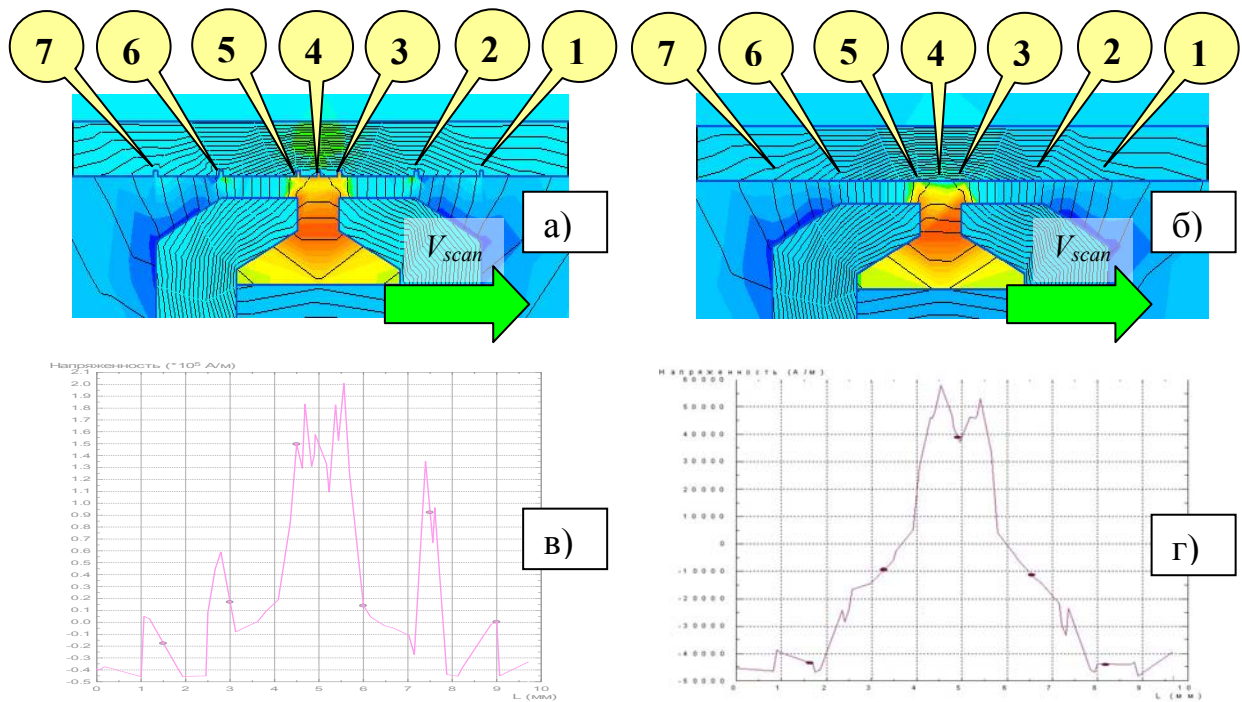


Рис. 1. Результаты моделирования схемы ЛПВ: а) и б) - топограммы пространственной функции H_x для группы дефектов и бездефектной области; в) и г) - графики функции $H_x(x)$ для группы дефектов и бездефектной области

Полученные функции (рис. 1в, 1г) использованы для построения циклограмм перемагничивания носителя в области дефекта (рис. 2а-г), по известным методикам теории магнитной записи сигналов [3-5], с целью определения остаточной намагниченности магнитограммы (рис. 3д) для характерных сечений дефекта (M_{cd} – центра дефекта, M_{pdr} – правой кромки дефекта, M_{pdl} – левой кромка дефекта; M_{nd} – бездефектной области).

Исследование циклограмм перемагничивания носителя показывает, что постоянной по знаку является только магнитная предыстория центра дефекта (рис. 2а), в то время, как петли перемагничивания кромок дефекта и бездефектной области являются знакопеременными (рис. 2б-г). Функция остаточной намагниченности магнитограммы (рис. 2д) имеет асимметричные минимумы в области кромок дефектов. Причём левый минимум M_{pdl} является экстремумом, обусловленным остаточной намагниченностью объекта.

Дальнейший анализ циклограммы перемагничивания носителя и функции остаточной намагниченности показывает, что при записи в условиях ЛПВ, принципиальное значение имеют не только параметры возбуждённых полей рассеяния дефектов, но также - амплитуда и направление поля рассеяния генератора ЛПВ, обеспечивающего подмагничивание. В частности, зависимость поля подмагничивания от положения генератора ЛПВ $H_x(x; \Delta x)$ является знакопеременной функцией, что не отражено моделями [1, 3-5] в виду их ограничений.

Перечисленные обстоятельства показывают неадекватность термина «запись с постоянным подмагничиванием» по отношению к процессу записи при ЛПВ, поскольку, поле возбуждения и его функционал (поле рассеяния дефектов), а также поле подмагничивания являются функциями положения генерато-

ра ЛПВ [2]. В данном контексте очевидно, что более уместным будет термин «запись с позиционно зависимым подмагничиванием».

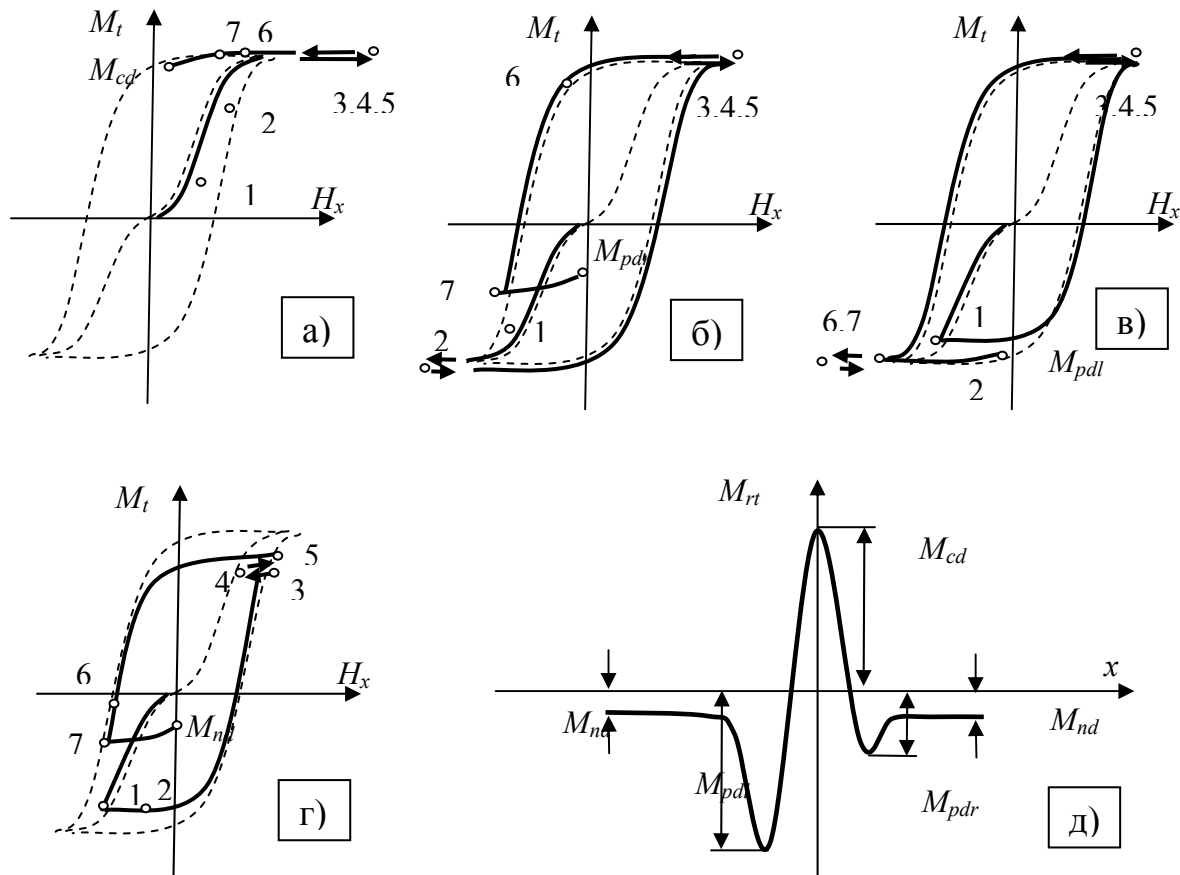


Рис. 2. Циклограммы перемагничивания носителя в области дефекта типа «наружная трещина»: а) – центр дефекта; б) - правая кромка дефекта; в) - левая кромка дефекта; г) – бездефектная область; д) - функция остаточной намагненности магнитограммы

Кроме того, приведенный пример показывает, что в случае ЛПВ, активная зона записи существенно превышает величину зазора генератора ЛПВ: максимумы центров дефектов записываются в области положительных полей рассеяния (зазора) генератора ЛПВ $+H_{mx}$, а минимумы периферии дефектов – на спаде отрицательных полей рассеяния генератора ЛПВ $-H_{mx}$ (с существенным отставанием от зазора). То есть магнитная запись полей рассеяния объекта при ЛПВ, является асинхронным во времени и протяжённым в пространстве процессом, поскольку магнитографирование элементов дефекта (центра, кромок и окрестностей) выполняется в различных фазах движения генератора ЛПВ. Кроме того, полный процесс смещения при подмагничивании ЛПВ близок по физическому смыслу к вырожденному процессу высокочастотного подмагничивания (1 знакопеременный импульс), поскольку, с учётом изменения знака напряженности поля подмагничивания H_{mx} , на линейный участок кривой начального намагничивания поочерёдно выводятся точки центра и периферии дефекта H_{dx} .

При технической реализации генератора ЛПВ для записи с позиционно зависимым подмагничиванием должны быть учтены следующие принципы:

1. Ширина рабочего зазора генератора ЛПВ $2b_m$ должна удовлетворять наиболее жёсткому из критериев: превышать удвоенную величину зазора в полюсах $2b_m \geq 2\delta$ для обеспечения преваляирования потока возбуждения над потоком рассеяния; превышать глубину дефектного слоя $2b_m \geq h_d$ для обеспечения намагничивания материала изделия по толщине исследуемого слоя; превышать ширину (раскрыв) дефекта $2b_m \geq 2b_d$ для уменьшения потерь намагничивания материала в области дефекта и получения высокого градиента поля над дефектом.

2. Величина неконтакта генератора ЛПВ с поверхностью магнитной ленты должна превосходить величину неконтакта магнитной ленты с поверхностью объекта и определяться соотношением $\delta_m \geq \delta_e$, с целью обеспечения в плоскости магнитной ленты доминирования полей рассеяния дефектов H_{dx} по отношению к полю подмагничивания H_{mx} .

3. Конструктивными параметрами генератора ЛПВ должна быть выполнена балансировка 3-х потоков рассеяния генератора ЛПВ (деление условно): намагничивания (возбуждения полей рассеяния дефектов), подмагничивания с положительным смещением (сдвиг рабочей точки центра дефекта) и подмагничивания с отрицательным смещением (сдвиг рабочей точки кромок дефекта). Рекомендуемые параметры балансировки: H_{m0} ; b_m ; δ_m ; μ_m ; форма и размеры полюсов генератора ЛПВ.

3.1. Процесс намагничивания определяется напряжённостью магнитного поля в исследуемом слое материала объекта H_e , который должен быть намагничен до состояния близкого к насыщению.

3.2. Процесс положительного смещения при подмагничивании определяется напряжённостью магнитного поля зазора генератора ЛПВ H_{mx} в плоскости МЛ, который должен обеспечивать вывод рабочей точки центра дефекта H_{dx} на линейный участок положительной кривой начального намагничивания магнитной ленты, что, как правило, выполнимо на уровне коэрцитивной силы магнитной ленты $H_{mx} \approx H_{tc}$.

3.3. Процесс отрицательного смещения при подмагничивании определяется напряжённостью магнитного поля периферии генератора ЛПВ $-H_{mx}$ в плоскости МЛ, поскольку, с учётом изменения знака $-H_{mx}$, на линейный участок отрицательной кривой начального намагничивания выводятся точки периферии дефекта H_{dx} . Т.о., оптимальное перемагничивание также происходит на уровне коэрцитивной силы магнитной ленты $-H_{mx} \approx -H_{tc}$. Увеличение амплитуды $-H_{mx}$ от рекомендуемого значения приведёт к частичному стиранию (ослаблению) записи центра дефекта M_{cd} . Снижение амплитуды $-H_{mx}$ от рекомендуемого значения приведёт к частичному ослаблению записи периферии дефекта M_{pd} .

Схемотехнические решения для генераторов ЛПВ

Описанные в публикациях [1,2] теоретические основы метода ЛПВ и приведенные результаты исследования процесса магнитной записи в условиях ЛПВ позволили реализовать несколько схемотехнических решений для генераторов ЛПВ.

Так, описаний в разделе моделирования генератор ЛПВ щелевого типа, обладает априорно очевидным практическим недостатком – значительными ис-

кажениями записи при магнітографірованні на рельєфній поверхності. По этой причине для работы на рельефе был предложен генератор ЛПВ роторного типа, с плавающим подвесом дисков магнитопровода (рис. 3).

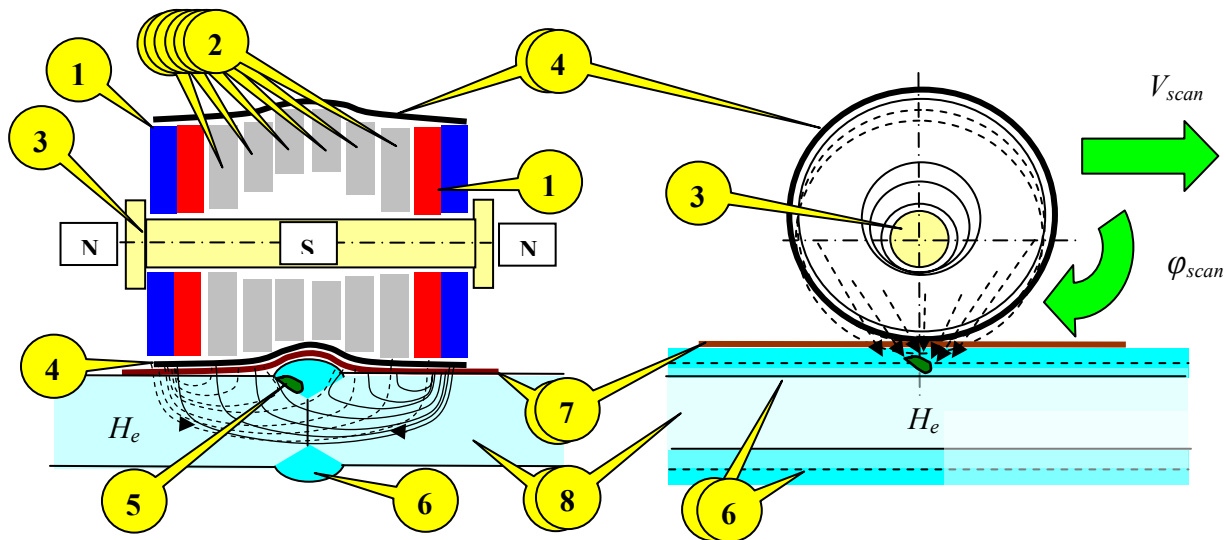


Рис. 3. Принципиальная схема генератора ЛПВ роторного типа

В данном устройстве, в виде источников постоянного магнитного поля используются 2 постоянных дисковых магнита с продольным намагничиванием (рис. 3 поз. 1). Замыкание внутреннего магнитного потока устройства происходит через диски пакета центрального магнитопровода (поз. 2), выполненные из магнитомягкого материала. Магнитная группа устанавливается с осевым и радиальным зазорами на оси (поз. 3) из немагнитного материала. При этом все цилиндры магнитной группы имеют возможность вращения, которое синхронизируется охватывающей эластичной манжетой (поз. 4) и радиального перемещения в пределах зазора осевого отверстия. Прижим магнитной ленты (поз.7) к исследуемой рельефной поверхности (например, валик стыкового сварного шва (поз.6) пластин (поз. 8)) обеспечивается давлением магнитной группы, создаваемым вследствие пондеромоторного взаимодействия с материалом объекта.

Концентрация поля в данном устройстве происходит по линии контакта между цилиндром магнитной группы и поверхностью объекта. Градиент напряжённости поля, при таком способе концентрации, весьма значителен, поскольку воздушный зазор между поверхностью цилиндра (радиуса R , расположенного на высоте δ_0) и плоскостью, по мере удаления от линии контакта возрастает по закону $y=R+\delta_0\pm(R^2-x^2)^{1/2}$, а напряжённость поля по мере увеличения зазора спадает по степенному закону [7]: $H_m(x,y)=M_r \cdot S/\mu \cdot y^2$, где M_r – намагниченность стержня; S – площадь полюса.

Экспериментальные исследования позволили уточнить практическую эффективность генераторов ЛПВ роторного и щелевого типа при магнітографірованні рельєфних поверхностей, в частности – сварных соединений. Визуализация полученных магнітограмм (рис. 4) выполнена магнітооптическим способом [8].

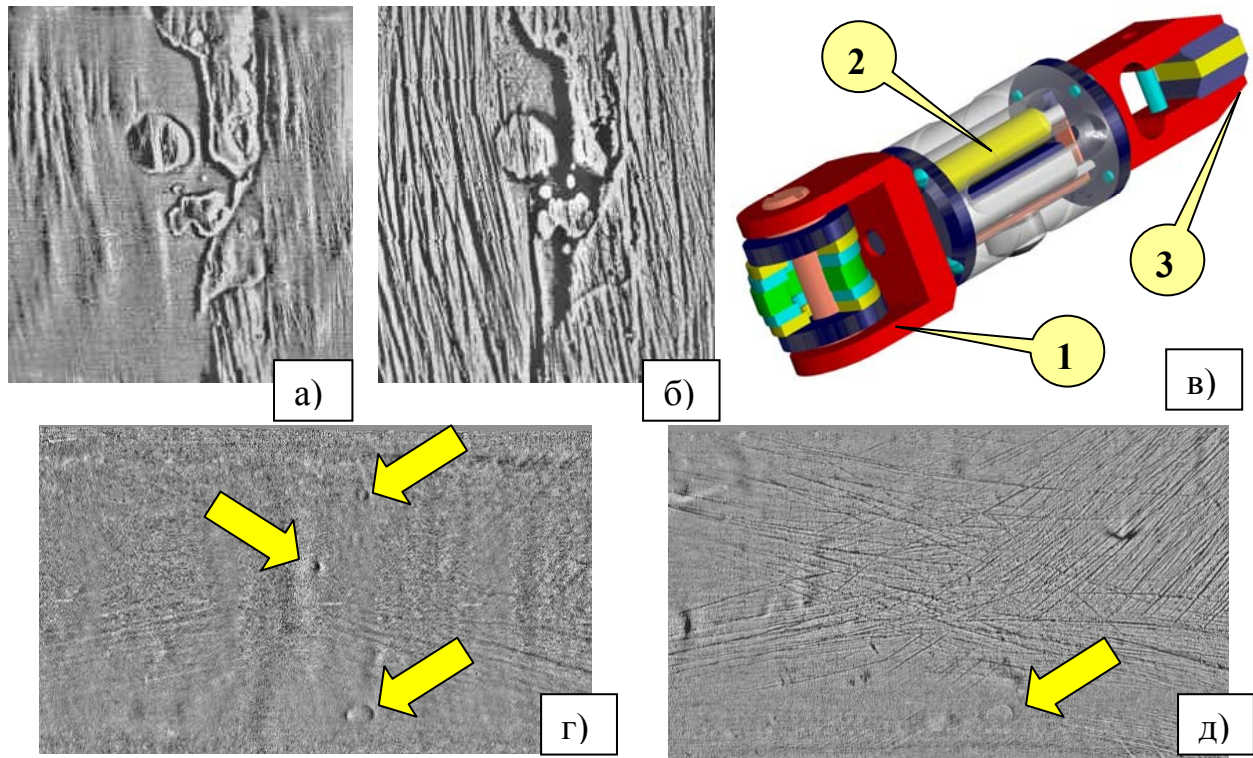


Рис. 4. Визуализация магнитogramм сварного шва, выполненных генераторами ЛПВ щелевого (а,г) и роторного (б,д) типов; конструкция комбинированного устройства ЛПВ (в)

За счет жёсткой конфигурации магнитопроводов, щелевой генератор ЛПВ имеет неустойчивые контактные условия с контролируемой поверхностью (рис. 4а), что обуславливает заметные искажения магнитogramмы по отношению к результатам ЛПВ роторного типа (рис. 4б). В то же время, на плоских поверхностях, щелевой генератор ЛПВ показывает более высокую чувствительность к подповерхностным дефектам сварного шва (рис. 4г), чем роторный (рис. 4д). Данные обстоятельства способствовали созданию конструкции комбинированного устройства ЛПВ (рис. 4в), включающего: генераторы роторного поз.1 и щелевого поз.3 типов, а также размагничивающую группу поз.2.

Выводы

1. В результате моделирования процесса намагничивания в условия ЛПВ и аналитического определения функции остаточной намагниченности магнитogramмы выработаны технические требования к основным параметрам генераторов ЛПВ для магнитографирования с позиционно зависимым подмагничиванием.

2. Экспериментальные исследования различных типов генераторов ЛПВ показали их работоспособность, позволили уточнить их специализацию и оптимизировать конструкцию.

3. Представляется перспективной задачей реализация высокочастотного подмагничивания в условиях ЛПВ, что и является предметом дальнейших исследований.

Література

1. Агалиди Ю.С. Принцип и теоретическая модель локального полюсного возбуждения при магнитографировании // Вісник НТУУ „КПІ”, серія Приладобудування. – 2007. - №33. – С.55 - 62.
2. Агалиди Ю.С. Исследование теоретической модели локального полюсного возбуждения при магнитографировании // Вісник НТУУ „КПІ”, серія Приладобудування. – 2007. - №34. – С.76 - 82.
3. Гитлиц М.В. Магнитная запись в СПИ. М. :“Связь”, 1978, 304 с.
4. Лауфер М.В., Крыжановский И.А. Теоретические основы магнитной записи сигналов на движущийся носитель. Киев: «Вища школа», 1982. -270 с., с ил.
5. Бургов В.А. Физика магнитной записи. М.: «Искусство», 1973. - 496 с., с ил.
6. Реутов Ю.Я., Гобов Ю.Л., Лоскутов В.Е. О возможностях использования программы ELCUT в расчётах по дефектоскопии // Дефектоскопия. - 2002, №6, с. 59-71.
7. Зильберман Г.Е. Электричество и магнетизм. М.: «Наука», 1970. -384 с., с ил.
8. Патент №42880 Україна 7G 01N 27/82, 27/83: Спосіб магнітооптичного контролю виробу. / Левий С.В., Агаліді Ю.С. Заявка № 99074257, від 22.07.1999. Опубл. 15.11.2001., Бюл. №10, 2001.

<p>Агаліді Ю.С. Принципи магнітного запису та типи генераторів локального полюсного збудження для пристроїв магнітографічного контролю</p> <p>Розглянуто принципи магнітного запису з позиційно залежним підмагнічуванням для пристроїв магнітографічного контролю, запропоновано технічні рішення генераторів локального полюсного збудження</p>	<p>Agalidi Yu. Magnetic recording principles and types of local polar stimulation generators for magnetographical inspection</p> <p>Magnetic recording principles jointly superposed magnetization, which dependent on position, was considered. Scheme of technical decisions for local polar stimulation generators was proposed</p>
--	---

*Надійшло до редакції
24 грудня 2007 року*

УДК 621.317

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ІЗОЛЯЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДВОЧАСТОТНОЇ МЕТОДИКИ ОБСТЕЖЕННЯ

Мухлинін С.М., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

В статті представлені результати експериментальних досліджень двочастотної портативної апаратури для надтрасової діагностики стану ізоляційного покриття трубопроводів, що знаходяться у вологих ґрунтах. В ході проведених досліджень встановлено, що для більш точного виявлення місцеположення осі трубопроводу, необхідно застосовувати пошук по максимуму сигналу

Постановка проблеми

Діагностика стану захисного ізоляційного покриття трубопроводів, яке підлягає старінню і руйнуванню, є невід’ємною частиною процесу експлуатації трубопроводів. Виходячи із вищенаведеного можна зробити висновок, що роз-