

X-RAY MINI ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ ПЛОСКОПАНЕЛЬНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

В. А. ТРОИЦКИЙ¹, С. Р. МИХАЙЛОВ², Р. О. ПАСТОВЕНСКИЙ¹

¹ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев-150, ул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua
²НТУУ «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского». 03056, Киев-56, пр-т Победы, 37. E-mail: fel@kpi.ua

Предложена новая технология радиационного контроля с применением малогабаритных твердотельных плоскочелпанельных детекторов, которая получила название X-ray mini технология. Приведены результаты радиационного контроля с помощью предложенной технологии сварных соединений различных изделий и состояния сотовых панелей летательных аппаратов. Библиогр. 2, табл. 1, рис. 9.

Ключевые слова: радиационный контроль, X-ray mini технология, твердотельный плоскочелпанельный детектор, рентгенотелевизионная система, цифровая радиография

Для повышения качества сложных изделий, машин и агрегатов на всех стадиях разработки, изготовления и эксплуатации необходим неразрушающий контроль (НК) исходных материалов, технологии изготовления и свойств готовой продукции. Среди видов НК значительное место занимает радиационный контроль. Радиационные методы НК применимы к изделиям из любых материалов и превосходят полнотой информации о дефектах (тип, форма, размеры, место расположения) другие виды НК.

Радиационный контроль качества использованных металлов позволяет обнаруживать поры, трещины, инородные включения, несплошности и другие дефекты. Контроль при изготовлении обеспечивает требуемое качество технологии изготовления и сборки продукции. При эксплуатации сложной техники необходимо контролировать отклонения от нормы, возникающие в процессе ее работы (повышенные зазоры, усталостные трещины, инородные накопления в замкнутых объемах, коррозию металла и т. д.). В ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ имеется опыт разработки и внедрения современных систем для рентгенотелевизионного контроля, которые могут применяться в различных отраслях промышленности [1].

В современных рентгенотелевизионных системах возможно применение недорогих малогабаритных твердотельных плоскочелпанельных детекторов. Новая технология на основе таких малогабаритных детекторов получила название X-ray mini. В отличие от традиционной пленочной радиографии или компьютерной радиографии, где в качестве детекторов применяют дорогие пленки или запоминающие пластины, X-ray mini технология позволяет значительно снизить стоимость и повысить оперативность контроля, а также обеспечивает практически мгновенный его результат.

Важной особенностью X-ray mini технологии является миниатюрность рентгеновского детектора, что позволяет проводить оперативный рентгеновский контроль труднодоступных узлов эксплуатируемых самолетов, турбин, реакторов и т. п. Такую технологию в настоящее время применяют для рентгенодиагностики в стоматологии. Малогабаритный рентгеновский детектор располагается в ротовой полости пациента и позволяет за доли секунды получить детальное рентгеновское изображение зубов и десен пациента. Нами эта технология освоена для задач промышленности.

На рис. 1 показан детектор для технологии X-ray mini типа S10811-11 с размером рабочего поля 34×24 мм, толщиной 6 мм, размером пикселя 20 мкм и количеством пикселей 1700×1200. Детектор обеспечивает высокие чувствительность контроля и разрешающую способность (20 пар лин./мм). В ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ такая X-ray mini технология используется для контроля сварных соединений различных изделий, состояния сотовых панелей летательных аппаратов, структуры композитов, исследования замкнутых



Рис. 1. Твердотельный плоскочелпанельный детектор S10811-11 с размером рабочего поля 34×24 мм и площадью 8,16 см² на 70 кВ

пространств (рис. 2–9), где невозможно разместить традиционные пленки или запоминающие пластины.

При реализации технологии X-ray mini используется детектор рентгеновского изображения, площадь которого более чем на два порядка меньше площади традиционных кассет с пленкой, запоминающих пластин или плоскопанельных детекторов стандартных размеров. Благодаря небольшим размерам твердотельный детектор может быть размещен в любом труднодоступном или стесненном пространстве, а также перемещаться по поверхности контролируемого объекта. Такое сканирование позволяет исследовать обнаруженные дефекты и неоднородности контролируемого объекта в разных ракурсах. В реальном времени информация о внутренней структуре исследуемого участка контролируемого объекта поступает на экран монитора. Основное отличие данной технологии X-ray mini от известной цифровой радиографии на основе плоскопанельных детекторов состоит в том, что стоимость такого миниатюрного детектора в десятки раз меньше стоимости плоскопанельного детектора стандартных размеров [2].

В таблице приведены результаты и режимы контроля сварных соединений стальных и алюминиевых пластин толщиной 1,5 и 2 мм с использованием технологии X-ray mini (детектор S10811-11, рис. 1). Для просвечивания образцов использовался рентгеновский аппарат (РА) РАП 150/300, а также микрофокусный аппарат РЕИС-100И.

На рис. 2 показан процесс контроля сварного соединения стальных пластин толщиной 1,5 мм микрофокусным аппаратом РЕИС-100И. Плоскопанельный детектор S10811-11 закреплен на штативе за контролируемым образцом.

При просвечивании образцов аппаратом РАП 150/300 его рентгеновская трубка работала в режиме малого фокуса и фокусное расстояние устанавливалось равным 600...700 мм. При работе с аппаратом РЕИС-100И, учитывая его малую мощность и малый размер фокусного пятна, фокусное расстояние устанавливалось равным 100 мм. Во всех режимах просвечивания анодное напряжение рентгеновских трубок не превышало 70 кВ. При контроле стальных образцов использовался про-

волочный эталон 11 (ГОСТ 7512–82), а при контроле алюминиевых образцов – проволочный эталон 22 (ГОСТ 7512–82).

На рис. 3 приведены изображения, полученные при просвечивании сварного соединения стальных пластин толщиной 1,5 мм в режиме 2 (см. таблицу). Изображение контролируемого образца представлено в негативе и позитиве. Маркировочный знак расположен на седьмой проволочке эталона. Как видно из рисунка, чувствительность по проволочному эталону составляет 0,063 мм. Таким образом, технология X-ray mini на основе твердотельных миниатюрных детекторов S10811-11 обеспечивает чувствительность, которая не уступает используемой в настоящее время радиографии с промежуточными носителями информации (пленки, запоминающие пластины).

На рис. 4–6 проиллюстрированы возможности X-ray mini технологии на примере контроля сотовой конструкции закрылка крыла самолета, показанной на рис. 4.

Вначале проводится панорамное просвечивание сотовой конструкции. На рис. 5 приведено цифровое изображение сотовой конструкции, полученное с помощью рентгенотелевизионной системы РТВ-03 с размером рабочего поля 160×120 мм на основе рентгеновского экрана Gd₂O₂S(Tb) и высокочувствительной ПЗС-камеры. Далее проводится локализация дефектных участков, которые предполагается детально исследо-



Рис. 2. Контроль сварного соединения стальных пластин толщиной 1,5 мм микрофокусным аппаратом РЕИС-100И и плоскопанельным детектором S10811-11

Режимы контроля

Режим	Материал	Толщина, мм	Тип РА	U_a , кВ	I_a , мА	Фокусное расстояние, мм	Время экспозиции, с	Чувствительность по проволочному эталону, мм
1	Сталь	1,5	РАП 150/300	60	4	600	20	0,063
2	Сталь	1,5	РЕИС-100И	65	0,04	100	20	0,063
3	Алюминий	2	РАП 150/300	50	3,7	700	10	0,1

Примечание: U_a и I_a – анодное напряжение и анодный ток рентгеновских трубок соответственно

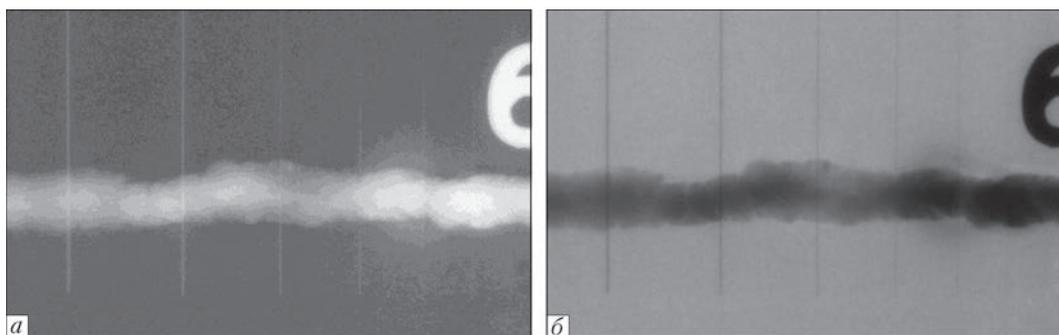


Рис. 3. Цифровые изображения сварного соединения, соответствующие режиму 2 таблицы: а – негатив; б – позитив

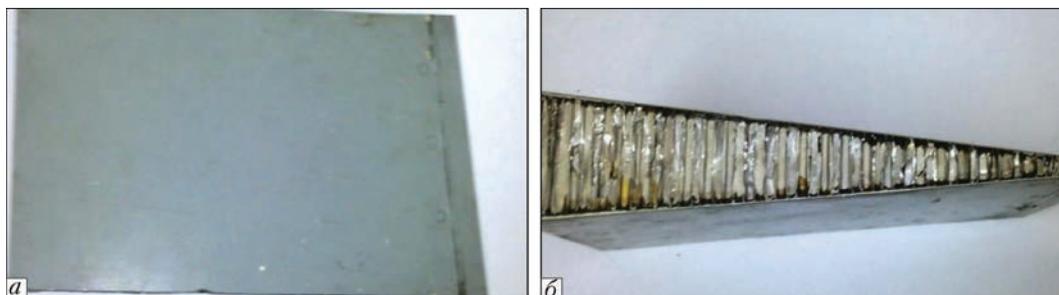


Рис. 4. Сотовая конструкция закрылка крыла самолета: а – вид сверху; б – вид сбоку



Рис. 5. Цифровое изображение фрагмента сотовой конструкции закрылка крыла самолета с локализацией дефектного участка для исследования с помощью детектора S10811-1

вать с высокой пространственной разрешающей способностью с помощью твердотельного плоскопанельного детектора S10811-11. На рис. 5 дефектный участок, размеры которого выбираются равными размерам детектора S10811-11, показан белым прямоугольником.

Далее проводится просвечивание выделенного дефектного участка сотовой конструкции с применением плоскопанельного детектора S10811-11. Полученные в результате такого просвечивания цифровые изображения дефектного участка приведены на рис. 6. Семикратное увеличение выделенного дефектного участка позволяет детально исследовать и расшифровать дефект сотовой конструкции.

На рис. 7–9 приведены результаты контроля с помощью технологии X-ray mini трехслойного образца из нержавеющей стали с двойной точечной сваркой (рис. 7).

Вначале, как и при контроле сотовой конструкции (см. рис. 4), проводится панорамное просвечивание образца с помощью рентгентелевизионной системы РТВ-03 с размером рабочего поля 160×120 мм. Полученные цифровые изображения образца с точечной сваркой представлены на рис. 8. Далее проводится выделение проблемных (дефектных) участков, которые предполагается детально исследовать с помощью твердотельно-

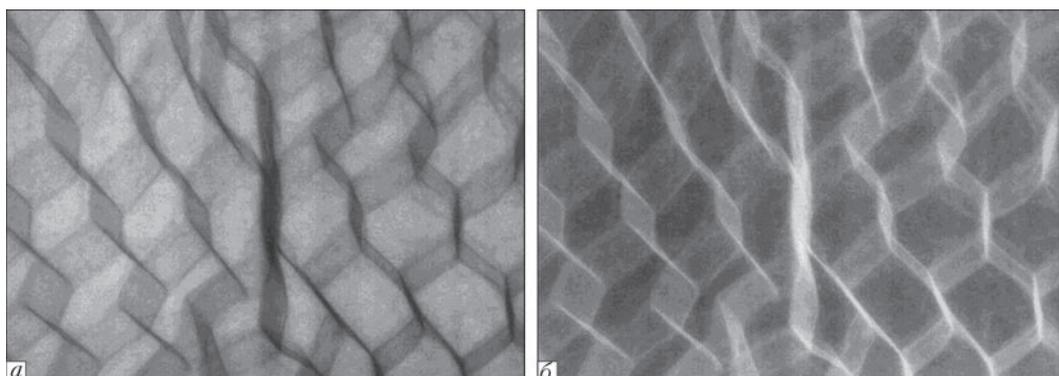


Рис. 6. Цифровые изображения дефектного участка сотовой конструкции закрылка крыла самолета, полученные с применением твердотельного преобразователя типа S10811-11: а – позитив; б – негатив

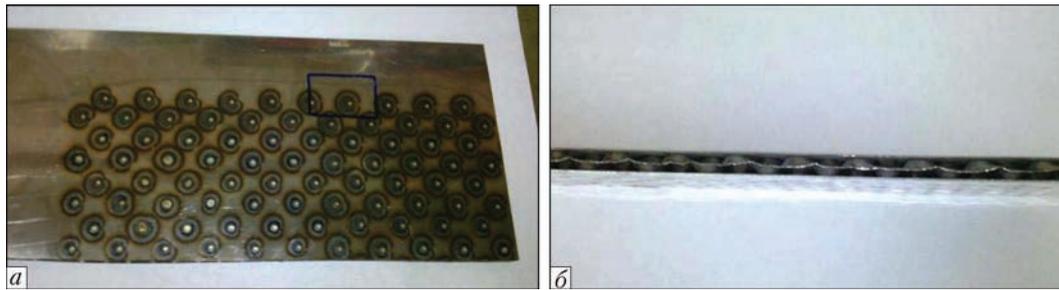


Рис. 7. Изображение трехслойного образца с двойной точечной сваркой: *а* – вид сверху; *б* – вид с торца

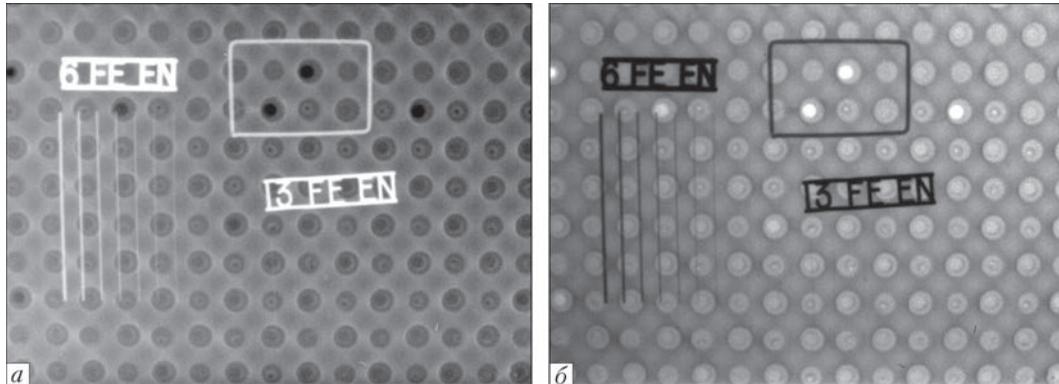


Рис. 8. Цифровые изображения образца с двойной точечной сваркой с локализацией участка для исследования с помощью твердотельного преобразователя S10811-11: *а* – негатив; *б* – позитив

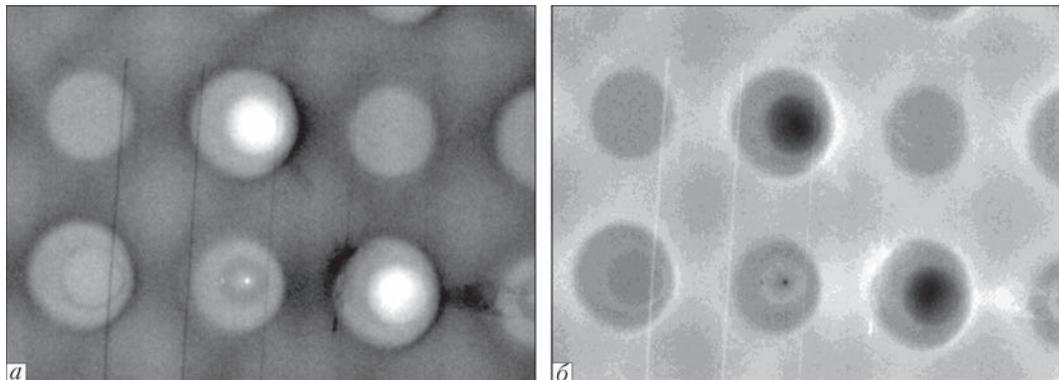


Рис. 9. Цифровые изображения дефектного участка образца с двойной точечной сваркой, полученные с применением твердотельного преобразователя типа S10811-11: *а* – позитив; *б* – негатив

го плоскопанельного детектора S10811-11. На рисунке выделенный дефектный участок обведен белым прямоугольником на негативном изображении и черным прямоугольником на позитивном изображении.

После выделения дефектных участков проводится их просвечивание с применением плоскопанельного детектора S10811-11. На рис. 9 приведены полученные в результате такого просвечивания цифровые изображения дефектного участка образца с двойной точечной сваркой (см. рис. 8). Как на негативном, так и на позитивном изображениях четко видны дефекты, характерные для этого вида сварки. Такие детальные изображения могут быть получены только на основе технологии X-ray mini. Эти дефекты практически не выявляются на изображениях (см. рис. 8), полученных с помощью рентгенотелевизионной системы РТВ-03.

Выводы

Миниатюрные твердотельные плоскопанельные детекторы открывают новые технологические возможности для радиационного НК ответственных изделий, узлов и агрегатов.

X-ray mini технология реализуется на серийном недорогом оборудовании и позволяет более чем на порядок снизить стоимость контроля по сравнению с компьютерной и цифровой радиографией на основе плоскопанельных детекторов стандартных размеров.

Сканирование контролируемых объектов миниатюрными детекторами и сшивание изображений отдельных экспозиций с помощью специального программного обеспечения позволяет контролировать протяженные объекты в разных ракурсах. Для выполнения сканирования конкретных объектов миниатюрными детекторами должно быть разработано вспомогательное оборудование.

Список литературы

1. Современные системы радиационного неразрушающего контроля / В. А. Троицкий и др. // Техн. диагностика и неразруш. контроль. – 2015. – № 1. – С. 23–35.
2. Троицкий В. А., Михайлов С. Р., Бухенский В. Н. Флеш-радиография объектов АЭС на основе плоскочелюстных детекторов // Информационный бюллетень Украинского товариства неруйнівного контролю та технічної діагностики «НК-Інформ» – 2014. – № 3. – С. 6–14.

References

1. Modern systems of radiation non-destructive testing / Troitskii V. A. et al. // Tekh. Diagnost. i Nerazrush. Kontrol. - 2015. – #1. – P. 23–35. [in Russian].
2. Troitsky V. A., Mikhaylov S. R., Bukhensky V. N. Flash-radiografiya obyektov AES na osnove ploskopanelnykh detektorov // Informatsiyni biuleten Ukrainskoho tovarystva neruivnogo kontroliu ta tekhnichnoi diahnostryky «NK-Inform» – 2014. – № 3. – С. 6–14.

В. О. ТРОЙЦЬКИЙ¹, С. Р. МИХАЙЛОВ²,
Р. О. ПАСТОВЕНСЬКИЙ¹

¹ІЗ ім. Є. О. Патона НАН України. 03680, м. Київ-150, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua
²НТУУ «Київський політехнічний ін-т ім. Ігоря Сікорського». 03056, м. Київ-56, пр-т Перемоги, 37. E-mail: fel@kpi.ua

X-RAY MINI ТЕХНОЛОГІЯ КОНТРОЛЮ НА ОСНОВІ ТВЕРДОТІЛЬНИХ ПЛОСКОПАНЕЛЬНИХ ДЕТЕКТОРІВ

Запропоновано нову технологію радіаційного контролю із застосуванням малагабаритних твердотільних плоскочелюстных

детекторів, яка отримала назву X-ray mini технологія. Наведено результати радіаційного контролю за допомогою запропонованої технології зварних з'єднань різних виробів, стану стільникових панелей літальних апаратів та ін. Бібліогр. 2, табл. 1, рис. 9.

Ключові слова: радіаційний контроль, X-ray mini технологія, твердотільний плоскочелюстний детектор, рентгенотелевізійна система, цифрова радіографія

V. A. TROITSKY¹, S. R. MIKHAILOV²,
R. O. PASTOVENSKY¹

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of NASU.
11, Kazimir Malevich str., 03680, Kiev, Ukraine.
E-mail: office@paton.kiev.ua

²NTUU «Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute».
37, Pobedy Ave., 03056, Kiev, Ukraine. E-mail: fel@kpi.ua

X-RAY MINI TESTING TECHNOLOGY BASED ON SOLID PLANE PARALLEL DETECTORS

A new technology of radiation control with application of small-sized solid plane parallel detectors is proposed, which was called X-ray mini technology. The paper gives the results of the proposed technology application for radiation testing of welded joints of different items, state of honeycomb panels of flying vehicles and investigation of closed spaces. 2 References, 1 Tables, 9 Figures.

Keywords: radiation control, X-ray mini technology, solid plane parallel detector, X-ray TV system, digital radiography

Поступила в редакцію
18.01.2017

Национальная академия наук Украины
Институт электросварки им. Е.О. Патона НАНУ
Международная Ассоциация «Сварка»



Международная конференция
**РОБОТИЗАЦІЯ І АВТОМАТИЗАЦІЯ
СВАРОЧНИХ ПРОЦЕСІВ**

Київ, ІЗС ім. Е.О. Патона НАН України
12–14 июня 2017

Председатели программного комитета
академики Л. М. Лобанов и И. В. Кривцун

Тематика конференции:

- основные тенденции развития автоматизации и робототехники в сварочном производстве;
- датчики и преобразователи для контроля и регулирования процессов сварки;
- средства обучения и программирования роботов;
- техническое зрение роботов;
- технологии и оборудование для автоматизированной и роботизированной сварки;
- аддитивные технологии;
- адаптивные роботы и механизированные комплексы;
- охрана труда;
- применение интернет-технологий;
- использование методов искусственного интеллекта

Адрес оргкомитета:
ІЗС ім. Е.О. Патона НАН України
ул. Казимира Малевича (Боженко), 11, г. Київ, 03680, Україна
тел./факс: (38044) 200-82-77, 200-81-45
E-mail: journal@paton.kiev.ua
www.pwi-scientists.com/rus/robotweld_2017

Подача заявок для участия и отправка докладов до 15.04.2017

Одобренные программным комитетом конференции доклады будут изданы в специальном выпуске журнала «Автоматическая сварка» №6, 2017.