

7. Красичков А. С. Анализ статистических закономерностей ЭКГ // Биомедицинская радиоэлектроника. 2011. № 5. С. 18–23.

8. Красичков А. С., Киреев И. С., Нифонтов Е. М. Определение индивидуальной зависимости между временными параметрами электрокардиограммы // Вестн. аритмологии. 2004. № 35. С. 33.

9. <http://www.physionet.org/physiobank/database/mitdb> (Дата посещения 13.04.2016).

10. Красичков А. С., Нифонтов Е. М., Иванов В. С. Алгоритм сортировки кардиокомплексов для анализа

длительных записей электрокардиосигнала // Биомедицинская радиоэлектроника. 2011. № 11. С. 24–28.

11. Красичков А. С. Метод предварительной обработки электрокардиосигнала для задачи сортировки кардиокомплексов при длительном мониторинговании // Биотехносфера. 2012. № 3–4(21–22). С. 105–109.

12. Красичков А. С., Григорьев Е. Б., Нифонтов Е. М. Влияние миографической помехи и дрейфа изоэлектрической линии на коэффициент корреляции при классификации кардиокомплексов // Медицинская техника. 2015. № 4(292). С. 23–27.

A. S. Krasichkov

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"

## Design principles and basic algorithmic support of remote health monitoring systems for cardiovascular patients

*Construction principles of remote health monitoring systems for cardiovascular patients are presented. Basic algorithmic support of the system that allows carrying out detection and sorting of cardiocomplexes with simultaneous accumulation of identical cardiocomplexes is determined.*

Electro cardio signal, medical alert system, R wave detection, rhythmic structure, cardiocomplexes accumulation

Статья поступила в редакцию 1 апреля 2016 г.

УДК 620.183.6

Н. Н. Потрахов, В. Б. Бессонов, В. О. Косов, А. Ю. Грязнов, К. К. Жамова  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)  
А. А. Подымский  
ЗАО "Светлана-Рентген" (Санкт-Петербург)

## Способ оценки качества точечного сварного соединения<sup>1</sup>

*Разработан способ оценки качества точечного сварного соединения сборок листов высокопрочных нержавеющей сталей. Описана рентгенооптическая схема съемки сварной точки. Предложен алгоритм определения глубины залегания литого ядра сварной точки.*

### Оценка качества, рентгенодиагностика, точечное сварное соединение

В современном промышленном производстве, например в судостроении, большое внимание уделяется неразрушающему контролю качества соединений в сборках листов высокопрочных нержавеющей сталей, выполненных контактной точечной электросваркой (ТЭС) [1], [2]. Процесс контроля осложняется тем, что диагностироваться должна каждая сварная точка сборки, число которых при стандартных размерах металлического листа может составлять до 1000 шт.

**Материалы и методы.** Схематично изображение точечного сварного соединения двух листов металла представлено на рис. 1 ( $d$  – диаметр литого ядра;  $a_1$ ,  $a_2$  – глубина проплавления;  $c$  – глубина вмятины;  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  – толщина металлических листов).

Задача контроля точечного сварного соединения заключается:

– в определении наличия литого ядра (проплавления);

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 15-19-00259 по теме "Создание портативной установки для микрофокусной рентгенографии с целью оперативного контроля микроструктуры, физико-химических свойств и определения остаточного ресурса авиационных деталей и узлов из полимерных композиционных материалов".

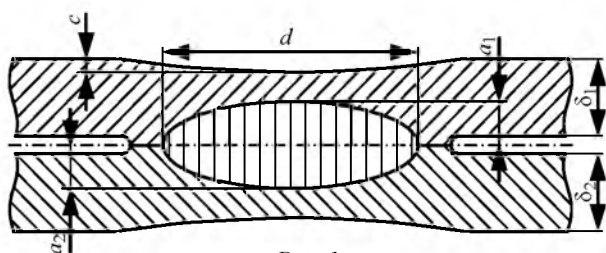


Рис. 1

– оценке диаметра литого ядра и величины проплавления:

$$A = \frac{a_1 + a_2}{\delta_1 + \delta_2 - 2c}$$

В норме проплавление  $A$  составляет от 20 до 80 (рис. 1).

В отечественной промышленности для решения задач неразрушающего контроля качества традиционно используется рентгенография [3]. В рассматриваемом случае для обеспечения необходимых точности и чувствительности контроля предложено использовать метод двухракурсной проекционной рентгеновской съемки сварного соединения. Метод заключается в получении увеличенных рентгеновских изображений точечного сварного соединения в двух ракурсах, последующей математической обработке полученных изображений и расчете глубины залегания литого ядра сварной точки по специальному алгоритму.

Рентгенооптическая схема двухракурсной съемки точечного сварного соединения (точки) двух листов металла представлена на рис. 2. Первый рентгеновский снимок сварной точки выполняется в прямой проекции. Для этого фокусное пятно  $l$  источника рентгеновского излучения (далее источника) располагается на расстоянии  $h_1$  от плоскости контакта свариваемых листов 4, 5, а приемник рентгеновского изображения 7 (далее приемник) – на расстоянии  $h_2$  от этой плоскости. Ось пучка рентгеновского излучения 2 проходит через

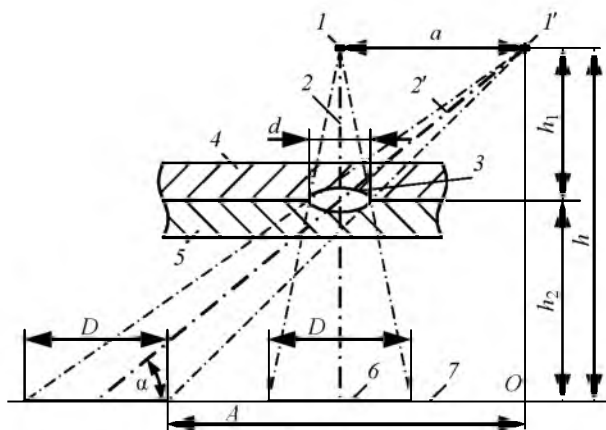


Рис. 2

центр литого ядра 3 сварной точки перпендикулярно плоскости свариваемых листов и приемника 7.

Второй снимок этой же сварной точки выполняется в так называемой косо́й проекции. Для этого фокусное пятно источника  $l'$  смещается по горизонтали на расстояние  $a$ , расстояния  $h_1$  и  $h_2$  остаются неизменными. При этом ось пучка 2' отклоняется от первоначального направления и составляет с плоскостями свариваемых листов и приемника угол  $\alpha$ .

На основании описанной схемы получено выражение для определения глубины залегания  $h_1$  литого ядра сварной точки в соединении двух листов металла:

$$h_1 = 2a / (D + 2A). \quad (1)$$

В соответствии с (1) величина  $h_1$  может быть рассчитана после измерения на рентгеновском снимке диаметра  $D$  изображения  $b$  литого ядра, приведенного к плоскости приемника смещения  $A$ , а также исходной величины смещения  $a$  и расстояния  $h = h_1 + h_2$  между фокусным пятном  $l$  и плоскостью приемника 7.

Анализ схемы (рис. 2) показывает, что чувствительность способа при оценке отклонения положения литого ядра в сварном соединении зависит от соотношения расстояний  $h_1$  и  $h_2$ , которые определяют коэффициент увеличения  $m = D/d$  изображения литого ядра  $D$  по отношению к размеру ядра  $d$ :

$$D = (h_1 + h_2) / h_1 d.$$

Чувствительность способа растет с ростом  $m$ . Однако при этом возрастает и геометрическая составляющая нерезкости изображения литого ядра, механизм образования которой проиллюстрирован рис. 3 ( $a - m \approx 1$  (контактная съемка),  $b - m \gg 1$  (съемка с увеличением)), где 1 – источник конечных размеров; 2 – объект (например, ядро); 3 – приемник; 4 – область нерезкости.

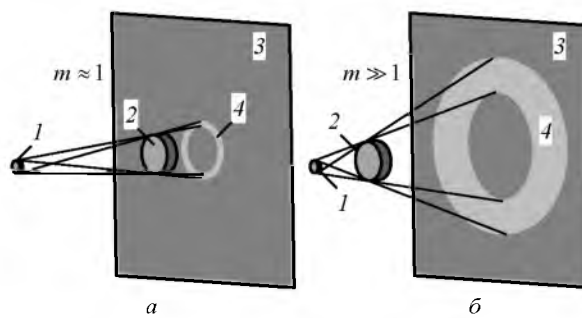


Рис. 3

Увеличение нерезкости затрудняет точную оценку диаметра изображения литого ядра по снимку.

Для уменьшения влияния нерезкости изображения на точность расчетов принципиальное значение имеет выбор размера фокусного пятна источника [4].

**Результаты и обсуждение.** Описанный метод контроля качества точечного сварного соединения реализован на специально сконструированной экспериментальной рентгеновской установке, включающей малогабаритный источник рентгеновского излучения с регулируемым размером фокусного пятна, цифровой приемник изображения на основе экрана с фотостимулируемым люминофором и штативное устройство для позиционирования



Рис. 4

друг относительно друга источника излучения, приемника изображения и объекта диагностики при выполнении двухракурсной съемки.

Внешний вид объекта диагностики – фрагмента сборки двух листов стали со сварными точками – показан на рис. 4.

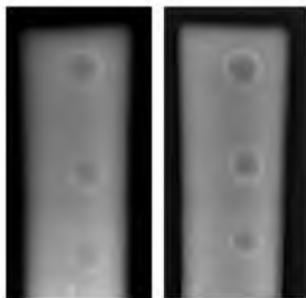


Рис. 5



Рис. 6

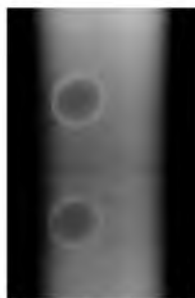


Рис. 7



Рис. 8

На рис. 5 представлен рентгеновский снимок с пятикратным увеличением ( $m = 5$ ) двух сварных точек ( $d = 0.5$  мм), полученный в традиционно используемых в настоящее время для целей промышленной дефектоскопии рентгеновских аппаратах с размером фокусного пятна в нескольких десятых долей миллиметра [5]. На рис. 6 –

аналогичное изображение ( $d = 0.01$  мм) при размере фокусного пятна в несколько сотых долей миллиметра. Качество (резкость) изображения литого ядра на этом снимке позволяет непосредственно даже без дополнительной компьютерной обработки измерить его диаметр  $D$ .

Примеры рентгеновских изображений при двухракурсной проекционной съемке сварных точек, полученные в ходе апробации описанного в настоящей статье способа, представлены на рис. 7 и 8 (прямая и проекции соответственно). Светлая линия на рис. 8 отмечает положение точки отсчета  $O$  на рентгенооптической схеме съемки (рис. 2).

Для расчета глубины залегания литого ядра по (1), включая процедуру определения границы рентгеновского изображения литого ядра при оценке его диаметра, использовалась специальная компьютерная программа, разработанная в пакете MatLab.

В процессе проведенных исследований разработана методика диагностики сборок из листов высокопрочных нержавеющей сталей, включая способ рентгеновского контроля качества сварного соединения, выполненного точечной контактной электросваркой. Созданы технические средства получения увеличенных рентгеновских изображений сварного

соединения в двух ракурсах и специализированная компьютерная программа для определения основных параметров сварного соединения.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологии автоматизированного контроля сборок металлических листов в различных отраслях промышленности.

## Список литературы

1. Федосов С. А., Оськин И. Э. Основы технологии сварки: учеб. пособие. М.: Машиностроение, 2011. 125 с.
2. Сварка. Резка. Контроль: справ. в 2 т. / Н. П. Алешин, Г. Г. Чернышов, А. И. Акулов и др.; под общ. ред. Н. П. Алешина, Г. Г. Чернышова. М.: Машиностроение, 2004. Т. 2. 480 с.
3. Артемьев Б. В., Буклей А. А. Радиационный контроль: учеб. пособие / под общ. ред. В. В. Клюева. 2-е изд. М.: Спектр, 2013. 192 с.

4. Микрофокусная рентгенография: физико-технические особенности, современные средства реализации и способы применения / Н. Н. Потрахов, А. Ю. Грязнов, Е. Н. Потрахов, В. Б. Бессонов // Вакуумная техника и технология. 2015. Т. 25, № 2. С. 153–160.
5. Алхимов Ю. В., Ефимов П. В., Сертаков Ю. И. Цифровые радиационные системы неразрушающего контроля: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2012. 151 с.

N. N. Potrakhov, V. B. Bessonov, V. O. Kosov, A. Yu. Gryaznov, K. K. Zhamova  
*Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"*

A. A. Podymsky  
*Close JSC "Svetlana–Rentgen" (Saint Petersburg)*

### **Method of Assessing of Spot Welded Joints Quality**

*The method of spot weld quality assurance of assemblies of sheets of high-strength stainless steels is developed. The X-ray optical scheme of shooting of a welding point is described. The algorithm of definition of a depth of a cast core of a spot weld is offered.*

Quality assessment, X-ray diagnostics, spot welded joint

Статья поступила в редакцию 17 марта 2016 г.