

ТОМОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОПТИМИЗИРОВАННОГО АЛГОРИТМА ОБРАТНОГО ПРОЕКЦИРОВАНИЯ

А.Х. Оздиев, асп., В.А. Смолянский, асп., Ю.Ю. Крючков, д.ф.-м.н., проф

Томский политехнический университет

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, тел. (3822)-12-34-56

E-mail: ozdiev@tpu.ru

Аннотация: Рентгеновская томография является одним из самых распространенных методов неразрушающего контроля, в частности его применение позволяет обнаруживать микроскопические дефекты, такие как, например, трещины, поры или раковины в сварных соединениях. Метод хорошо подходит для дефектоскопии сварных соединений труб небольшого диаметра, но в случае труб крупного диаметра подход сталкивается с рядом проблем. Основной проблемой является невозможность проведения томографического контроля из-за превышения размеров труба габаритов рентгеновской установки, решение которой значительно увеличивает себестоимость системы контроля. В работе предлагается применение оптимизированного алгоритма реконструкции для рентгеновского контроля сварных соединений труб большого диаметра. Результаты моделирования, приведенные в статье, демонстрируют работоспособность работы рассматриваемого подхода. Разработанный алгоритм является модификацией алгоритма обратного проецирования.

Введение: В настоящее время для проведения неразрушающего контроля сварных соединений труб на основе рентгеновской томографии применяют стандартную геометрию томографического эксперимента [1]. Стандартная геометрия томографического эксперимента подразумевает, что источник рентгеновского излучения, центр исследуемого объекта и детектор располагаются на одной прямой, таким образом, что ось вращения объекта точно совпадает с его центром.

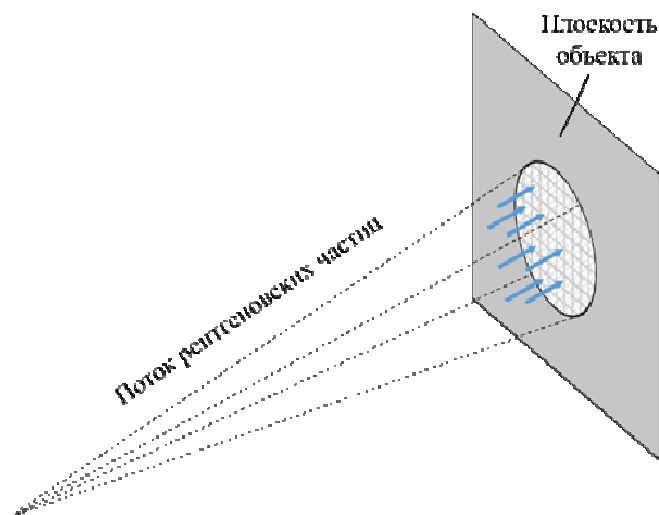


Рис. 1. Стандартная геометрия томографического эксперимента

На рисунке 1 схематично изображен процесс томографического сканирования трубы пучком веерообразной формы. Так как условия стандартной геометрии соблюдены, и размеры исследуемого объекта не превышают габариты установки, любой простейший алгоритм томографической реконструкции способен справиться с реконструкцией исследуемого объекта при данной конфигурации системы.

Предположим, что диаметр трубы достаточно велик, чтобы ширины рентгеновского пучка не было достаточно для полного покрытия сечения трубы. При этом увеличение расстояния между источником и детектором, вызванное увеличением диаметра объекта, неизбежно ведет к ухудшению качества реконструированных изображений, связанному с ослаблением рентгеновского пучка в воздухе. Также для обеспечения точности при полной реконструкции необходимо решить проблему недостаточности площади детектирующей поверхности, что может значительно увеличить время проведения эксперимента.

Таким образом, в области неразрушающего контроля сварных соединений труб большого диаметра актуальной задачей является разработка оптимальной геометрии томографического сканирования, а также разработка алгоритма томографической реконструкции, который позволит производить обработку данных, полученных на основе новой геометрии, и визуализировать исследуемый

объект для проведения анализа на наличие дефектов, с целью их дальнейшей классификации и локализации в реконструированном объеме.

Предлагаемый подход. Для проведения контроля сварных соединений труб большого диаметра предлагается применять конфигурацию установки, представленную на рисунке 2. Основным отличием данной геометрии от стандартной является коллимация пучка на крайней части контролируемой трубе.

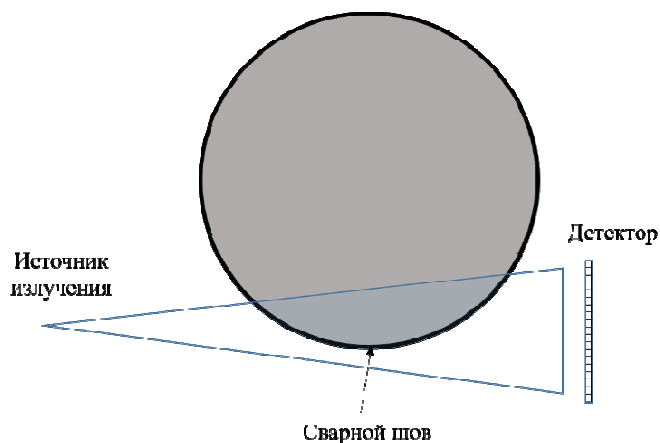


Рис. 2. Коллимация пучка на сварном соединении

В этом случае, как и при стандартной геометрии сканирования, исходными данными для реконструкции будут являться проекции объекта исследования. Однако стандартный алгоритм обратного проецирования [2] не подходит для реконструкции данных, полученных на коллимированном пучке. Соответственно алгоритм нуждается в оптимизации, которая заключается в расчете реальных траекторий обратного проецирования [3], и их дальнейшем использовании непосредственно для операций обратного проецирования в процессе реконструкции (рис. 3).

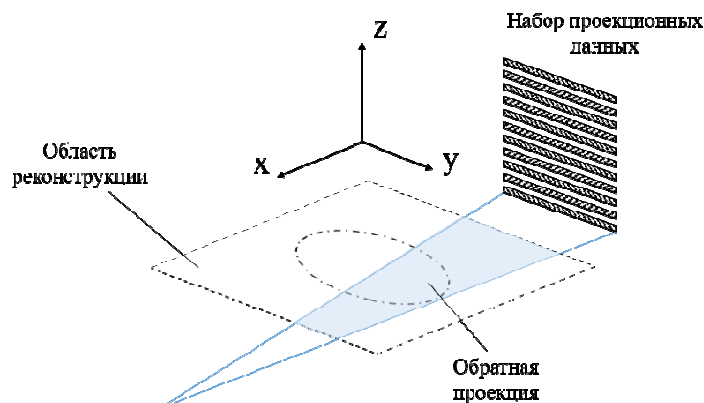


Рис. 3. Обратное проецирование данных, полученных на коллимированном пучке

Моделирование и результаты реконструкции. В ходе работы был использован образец сварного соединения, фотография которого представлена на рис. 4.



Рис. 4. Образец исследуемого сварного соединения

Данные для реконструкции и трехмерной визуализации данного образца были собраны стандартным томографическим сканированием. Непосредственные реконструкция и визуализация были получены с применением коммерческого программного обеспечения. Как видно из рисунка 5, объем данного образца сварного соединения содержит большое количество дефектов различного типа.

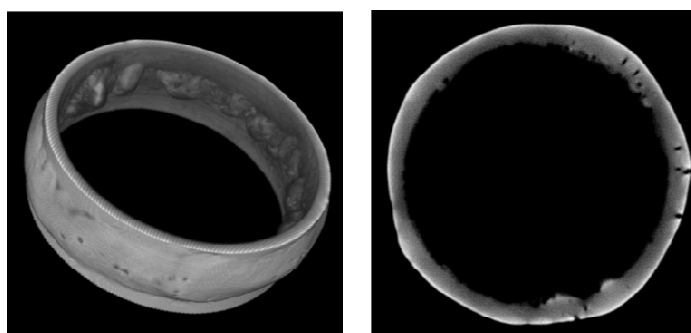


Рис. 5. Трехмерная визуализация сварного соединения (слева), сечение исследуемого сварного шва (справа)

Для моделирования и проверки работоспособности предложенного подхода было использовано сечение сварного соединения, представленного на рисунке 5 справа. В результате применения оптимизированного алгоритма обратного проецирования было реконструировано идентичное сечение, на котором достаточно хорошо видны дефекты, форма и расположение которых подтверждают работоспособность алгоритма. Для её демонстрации к полученному изображению (рисунок 6) не применялись никакие операции фильтрации или устранения артефактов. Поэтому можно заметить наличие полосовых артефактов.

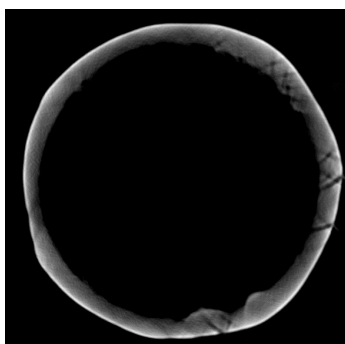


Рис. 6. Результат применения оптимизированного алгоритма обратного проецирования

Заключение. Результаты моделирования позволяют утверждать, что предлагаемый подход для проведения неразрушающего контроля сварных соединений труб большого диаметра является работоспособным. Применение оптимизированного алгоритма открывает возможности для проектирования рентгеновской установки, способной производить сканирование на основе предложенной геометрии. В дальнейшем будут предприняты меры по оптимизации разработанного метода с целью устранения полосовых артефактов.

Литература.

1. Herman G.T., Fundamentals of Computerized Tomography: Image Reconstruction from Projections, Springer Publishing Company, New York, 2009.
2. Kak A.C., Slaney M., Principles of Computerized Tomographic Imaging, SIAM, Philadelphia 2001, 60p.
3. Оздиев А.Х., Модифицированный алгоритм обратного проецирования для томографической реконструкции при сканировании образца с пошаговым сдвигом // Высокие технологии в современной науке и технике (ВТСНТ-2016) – Томск, 2016 – С. 433–434.

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СИЛУМИНА ЭЛЕКТРОВЗРЫВНЫМ МЕТОДОМ

Н.Н. Морозова¹, А.А. Клопотов^{1,2}, д.ф.-м.н., проф., Ю.Ф. Иванов^{1,3}, д.ф.-м.н., проф.

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина 30, тел. (3822)-42-72-42*

² *Томский государственный архитектурно-строительный университет
634002, г. Томск, пл. Соляная, 2, тел. (3822)-65-04-78*

*Национальный исследовательский Томский государственный университет,
634055, Томск 634050, пр. Ленина 36*

³ *Институт сильноточной электроники СО РАН
634055, г. Томск, пр-т Академический, 2/3, тел. (3822)-49-17-13*

E-mail: klopotovaa@tsuab.ru

Аннотация: Осуществлено модифицирование поверхности силумина марки АК12 плазмой, формирующейся при электрическом взрыве фольги алюминия с помещенной в область взрыва навеской порошка оксида иттрия (метод электровзрывного легирования). Выполнен термодинамический анализ системы Al-Si-Y-O, выявлены фазы, формирующиеся в данной системе в равновесных условиях. Осуществлены трибологические испытания модифицированного материала и выявлены режимы обработки, позволяющие многократно повысить износостойкость силумина.

Abstract: The modification of the surface of the silumin of the AK12 grade by the plasma formed during the electrical explosion of the aluminum foil with the yttrium oxide powder placed in the explosion region (the method of electric explosive doping) was carried out. The thermodynamic analysis of the Al-Si-Y-O system was carried out, the phases formed in this system under equilibrium conditions were revealed. Tribological tests of the modified material have been carried out and processing regimes have been identified, which allow many times to increase the wear resistance of silumin.

В настоящее время широкое распространение получили методы обработки металлов и сплавов, основанные на использовании концентрированных потоков энергии (потоки плазмы, мощные ионные и электронов пучки, лучи лазера и т.д.) [1-3]. Импульсное оплавление с одновременным насыщением поверхностных слоев материала легирующими элементами с последующей высокоскоростной кристаллизацией и образованием упрочняющих фаз, осуществляемое плазмой, формирующейся при электрическом взрыве токопроводящего материала (электровзрывное легирование, ЭВЛ), является одним из перспективных методов модификации структуры и свойств металлов и сплавов [4, 5]. Электровзрывное легирование металлов и сплавов осуществляется при импульсном воздействии на поверхность многофазных плазменных струй, сформированных при электрическом взрыве проводников. Продукты электрического взрыва представляют собой многофазную систему, включающую как плазменный компонент, так и конденсированные частицы различной дисперсности [6].

Целью работы являлся анализ фазообразования, структуры и свойств поверхностного слоя силумина, подвергнутого электровзрывному легированию.

В качестве материала исследования выбран силумин марки АК12 состава 12.5 % Si, 2.36 % Mg, 0.6 % Cu, 0.35 % Ni, 0.3 % Fe, ост. Al (ат. %). ЭВЛ (время воздействия ~100 мкс, ускоряющее напряжение 2,6 кВ, масса взрывающей фольги алюминия 0,0589 г, масса порошка оксида иттрия 0,0589 г) силумина осуществляли на установке лабораторного типа ЭВУ 60/10. Исследование структуры модифицированного слоя проводили методами сканирующей и просвечивающей дифракционной электронной микроскопии. Свойства поверхностного слоя характеризовали величиной коэффициента изнашивания.

Легирование силумина электровзрывным методом сопровождается воздействием на поверхность материала потоком плазмы, содержащей элементы фольги и навески порошка, а именно, алюминий, иттрий и кислород. Таким образом, в поверхностном слое силумина формируется многоэле-