

УДК 536.33, 53.087.2

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО
ОБНАРУЖЕНИЮ КОРРОЗИИ СТАЛЬНЫХ
ИЗДЕЛИЙ АКТИВНЫМ ТЕПЛОВЫМ МЕТОДОМ
КОНТРОЛЯ**

В.В. Ширяев, И.И. Колодная

Томский политехнический университет

E-mail: shiryaev@tpu.ru

Ширяев Владимир Васильевич, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. лаб. 34 Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: shiryaev@tpu.ru

Область научных интересов: тепловой неразрушающий контроль, обработка сигналов, программирование.

Колодная Ирина Игоревна, студентка кафедры информационно-измерительной техники Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: shiryaev@tpu.ru

Область научных интересов: тепловой неразрушающий контроль.

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований, целью которых являлось получение исходных данных по контролю коррозии в изделиях из стали для последующего выбора технологии контроля (способа и мощности нагрева, длительности нагрева, разработки алгоритмов обработки информации и т. п.).

Ключевые слова:

Коррозия, тепловой неразрушающий контроль.

Металлические (стальные) конструкции применяются, в основном, в нефтехимической и ядерной промышленности, и коррозия в таких конструкциях чревата не только потерями металла, но, в первую очередь, возможными инцидентами и авариями, включая заражение окружающей среды нефтепродуктами, радиоактивными веществами. В более специфическом плане речь идет о контейнерах, в которых хранятся радиоактивные отходы ядерных установок с низким уровнем активности.

Своевременное обнаружение коррозии в ответственных частях технических сооружений является важнейшей задачей технической диагностики, и регламент эксплуатации соответствующих сооружений включает методы неразрушающего контроля, прежде всего ультразвуковые (УЗ) и радиационные.

Преимуществами применения активного теплового неразрушающего контроля (АТНК) в промышленности является оперативность испытаний в сочетании с безопасностью. Наиболее известно применение этих методов для контроля авиационной техники.

Физические принципы применения теплового метода для обнаружения коррозии в толстостенных стальных объектах те же, что и в случае контроля алюминиевых самолетных панелей, тем не менее, имеется ряд особенностей.

В стальных изделиях температурные сигналы в зонах уноса материала существуют в течение значительно более длительного времени, нежели в тонких алюминиевых листах (вплоть до десятков секунд), однако с ростом толщины металла усиливается диффузия тепла, а также возникает проблема оптимального прогрева изделия по всей глубине, что требует поглощения металлом значительной энергии.

- В стальных изделиях температурные сигналы в зонах уноса материала существуют в течение значительно более длительного времени, нежели в тонких алюминиевых листах (вплоть до десятков секунд), однако с ростом толщины металла усиливается диффузия тепла, а также возникает проблема оптимального прогрева изделия по всей глубине, что требует поглощения металлом значительной энергии.
- Результатом компромисса между факторами, определяющими эффективность ТК коррозии в металлах, является то, что тепловой метод оптимален для обнаружения коррозии в стали толщиной 1...3 мм.
- Испытания изделий большей толщины возможны, если металлический объект имеет равномерный высокий коэффициент излучения, малую кривизну поверхности и разрешает свободный доступ к зоне контроля. При этом чаще всего оптимальными для нагрева являются галогенные лампы [1, 2].

Экспериментальные образцы с искусственной «коррозией»

Для экспериментальных исследований АТНК стальных изделий были изготовлены два образца из стальных пластин толщинами 1 и 2 мм с пятью дефектами, имитирующими различную степень уноса материала (рис. 1 и 2, табл. 1).



Рис. 1. Внешний вид стандартных образцов из стали со стороны искусственных дефектов – имитаций коррозии: а) пластина толщиной 1 мм; б) пластина толщиной 2 мм

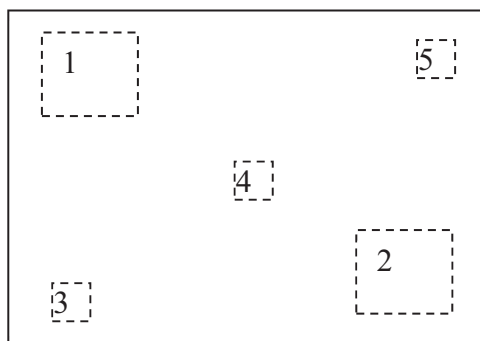


Рис. 2. Нумерация дефектов в стандартных образцах, принятая при обработке термограмм (вид со стороны контроля)

Таблица 1. Глубина «уноса» материала, в мм, измеренная по центру дефекта

| Образец | Дефект № 1 | Дефект № 2 | Дефект № 3 | Дефект № 4 | Дефект № 5 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Толщина 1 мм | 0,25 | 0,46 | 0,19 | 0,23 | 0,45 |
| Толщина 2 мм | 0,42 | 0,90 | 0,20 | 0,46 | 0,92 |

При проведении испытаний использовали следующую аппаратуру: тепловизор ТН9100ML фирмы NEC Avio для записи термографических последовательностей, в качестве источников нагрева применяли систему конвективного нагрева воздухом на базе двух промышленных фенов, оптические нагреватели трех видов, как то: импульсные ксеноновые лампы с общей энергией вспышки 2400 Дж, две галогенные лампы общей мощностью 1 кВт и нагревательную оптическую установку мощностью до 5 кВт (также на основе галогенных ламп).

Ниже представлены результаты обработки полученных термограмм с помощью программы ThermoFit Pro, разработанной в Томском политехническом университете. Данная программа позволяет применять следующие методы анализа термографических последовательностей: линейные методы обработки (нормализация, дифференцирование, фильтрация и т. д.), Фурье-анализ, различные способы вейвлет-анализа, а также метод главных компонент. В программе имеется модуль статистического анализа термограмм и получаемых изображений. Наибольшую эффективность в выявлении дефектов показал метод главных компонент. Ниже, в таблицах, показаны результаты экспериментальных исследований.

Конвективный нагрев

Нагрев производили с помощью двух фенов в течение фиксированного времени (рис. 3). Термограммы записывали непрерывно, при обработке кадры нагрева удалялись. Длительность нагрева составляла 15, 30 и 45 с для стандартного образца толщиной 2 мм, а также 10 и 30 с – для образца толщиной 1 мм.



Рис. 3. Процедура АТНК при нагреве воздухом

Выяснилось, что наилучшее отношение сигнал/шум (SNR) в результате обработки экспериментальных последовательностей термоизображений получается при использовании метода главных компонент. При этом предварительная обработка (фильтрация, нормализация) не требуется, поскольку она практически не влияет на величину SNR.

Результаты АТНК стандартного образца толщиной 2 мм приведены на рис. 4 и в табл. 2.

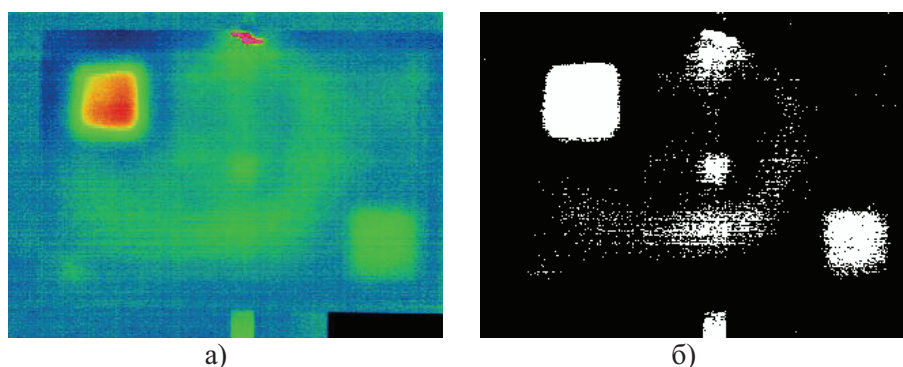


Рис. 4. Изображение 2-й компоненты: а) при использовании метода главных компонент; б) бинарное изображение дефектов при уровне ложной тревоги 5 % при воздушном нагреве 30 с

Таблица 2. Конвективный нагрев стандартного образца толщиной 2 мм*

| Нагрев воздухом 15 с | | | | | |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Дефект № 1 | Дефект № 2 | Дефект № 3 | Дефект № 4 | Дефект № 5 |
| SNR | 4,6447 | 3,6702 | 3,2505 | 5,1781 | – |
| Вероятность правильного обнаружения | 0,990 | 0,910 | 0,803 | 0,963 | – |
| Нагрев воздухом 30 с | | | | | |
| SNR | 16,509 | 8,5161 | 1,8882 | 3,6827 | 0,6693 |
| Вероятность правильного обнаружения | 1,000 | 1,000 | 0,611 | 0,885 | 0,076 |
| Нагрев воздухом 45 с | | | | | |
| SNR | 14,453 | 5,5146 | 1,9953 | 6,2522 | – |
| Вероятность правильного обнаружения | 1,000 | 0,757 | 0,128 | 0,917 | – |

*Примечание: в данной и последующих таблицах желтым цветом выделены значения отношения сигнал/шум менее 3

Результаты АТНК стандартного образца толщиной 1 мм приведены на рис. 5 и в табл. 3.

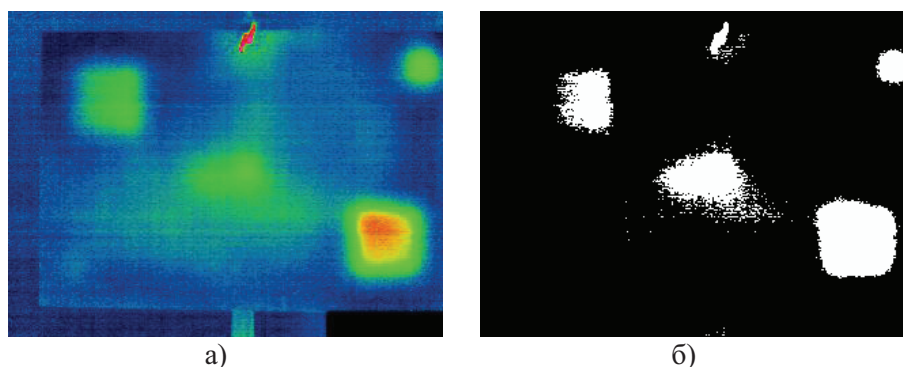


Рис. 5. Изображение 2-й компоненты а) методом главных компонент; б) бинарное изображение дефектов при уровне ложной тревоги 5 % при воздушном нагреве 30 с

Таблица 3. Конвективный нагрев стандартного образца толщиной 1 мм

| Нагрев воздухом 10 с | | | | | |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | Дефект № 1 | Дефект № 2 | Дефект № 3 | Дефект № 4 | Дефект № 5 |
| SNR | 2,4053 | 13,481 | 1,1698 | 3,3336 | 8,8544 |
| Вероятность правильного обнаружения | 0,769 | 1,000 | 0,274 | 0,823 | 1,000 |
| Нагрев воздухом 30 с | | | | | |
| SNR | 4,0051 | 11,697 | 1,1815 | 5,4307 | 13,120 |
| Вероятность правильного обнаружения | 0,935 | 1,000 | 0,305 | 1,000 | 1,000 |

Нагрев галогенными лампами мощностью 1 кВт

Длительность нагрева выбирали равной 5, 20 и 50 с (рис. 6). Установлено, что значения SNR при использовании данного способа контроля не превышали 2.



Рис. 6. Процедура АТНК при оптическом нагреве

Нагрев импульсными ксеноновыми лампами с энергией вспышки 2400 Дж

Этот способ контроля не выявил ни одного дефекта.

Нагрев галогенными лампами мощностью 5 кВт

Длительность нагрева составляла 30 с.

Результаты АТНК стандартного образца толщиной 2 мм приведены на рис. 7 и в табл. 4.

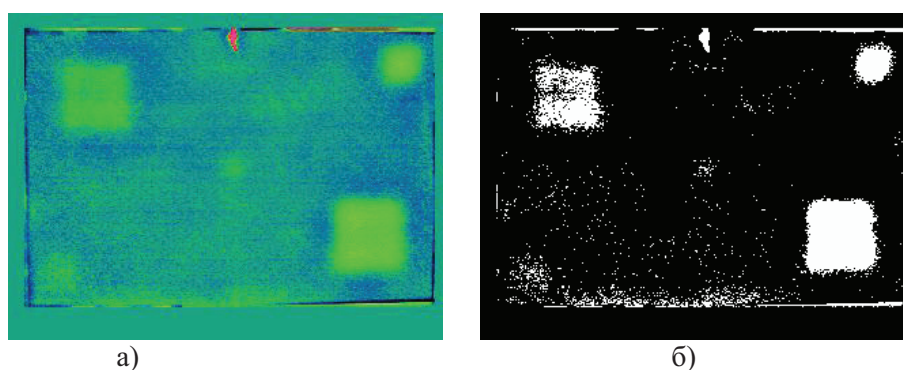


Рис. 7. а) изображение 2-й компоненты метода главных компонент; б) бинарное изображение дефектов при уровне ложной тревоги 5% при воздушном нагреве 30 с

Таблица 4. Оптический нагрев стандартного образца толщиной 1 мм

| | Дефект № 1 | Дефект № 2 | Дефект № 3 | Дефект № 4 | Дефект № 5 |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| SNR | 2,8446 | 8,7865 | 1,5503 | 1,1389 | 9,8894 |
| Вероятность правильного обнаружения | 0,795 | 1,000 | 0,310 | 0,188 | 1,000 |

Заключение

Наиболее эффективным, то есть, обладающим наибольшим отношением сигнал/шум, способом АТНК коррозии в стальных изделиях толщиной 1...2 мм является воздушный нагрев с последующим применением метода главных компонент (рис. 3).

Применение в качестве нагревателей галогенных ламп (рис. 6) большой мощности допустимо, если поверхность контроля обладает высоким коэффициентом поглощения оптического излучения. Отношение сигнал/шум при этом может превышать 3, но в любом случае ниже, чем при использовании конвективного нагрева.

Настоящее исследование выполнено по государственному контракту № 11.519.11.6015 в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 гг.».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М.: Спектр, 2009. – 570 с.
2. Вавилов В.П., Гринцато Э., Бизон П., Маринетти С. Обнаружение коррозии в стальных изделиях с помощью динамической ИК термографии // Дефектоскопия. – 1994. – № 9. – С. 56–65.

Поступила 04.05.2012 г.