

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБНАРУЖЕНИЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ОБРАЗЦАХ ИЗ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ПОМОЩЬЮ ИНДУКЦИОННОЙ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ.

Калашников Д.А.

Научный руководитель: Ширяев В.В., доцент, к.т.н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: dima778@sibmail.com

В отличие от традиционных методов нагрева (конвективный, оптический), используемых в активном тепловом контроле, индукционный нагрев имеет другую природу, что и позволяет применять его для обнаружения поверхностных трещин в объектах из электропроводящих материалов [1].

Механизмы конвективного (оптического) и индукционного нагрева приведены на рисунке 1, где Q – тепловой поток от источника нагрева, например, лампы накаливания, а P – обратный тепловой поток от объекта контроля, регистрируемый тепловизором. В первом случае температурный сигнал над дефектом будет положительным, если теплопроводность дефекта ниже теплопроводности бездефектной области (для одностороннего контроля). Но данный метод, по понятным причинам, не чувствителен к трещинам, расположенным перпендикулярно поверхности. В этом случае эффективен индукционный нагрев.

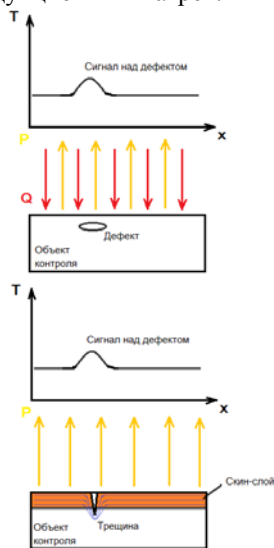


Рисунок 2. Механизм активного теплового контроля с использованием индукционного нагрева.

Вихревые токи в электропроводящем объекте, индуцируемые переменным магнитным полем индуктора, разогревают его под действием джоулева тепла, причем, нагревается лишь поверхностный слой, так называемый скин-слой (рисунок 2). Толщина скин-слоя определяется формулой:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_0 \mu \lambda}}$$

Где δ – толщина скин-слоя, ω – круговая частота переменного тока; μ – магнитная проницае-

мость материала проводника, μ_0 – магнитная постоянная, λ – удельная электрическая проводимость [2].

В случае если глубина трещины превышает толщину скин-слоя, вихревые токи, встречая на пути преграду, будут огибать ее, как показано на рисунке, вследствие чего плотность тока в области трещины увеличится, что приведет к существенно большему ее нагреву.

Экспериментальные исследования.

Для проведения эксперимента был использован стальной поверенный контрольный образец с искусственными дефектами для калибровки вихретоковых дефектоскопов. Внешний вид образца приведен на рисунке 3.



Рисунок 3. Внешний вид контрольного образца.

Контрольный образец для вихретокового контроля воспроизводит дефекты типа нарушения сплошности материала (поверхностные трещины) и представляет собой металлический брусок в виде параллелепипеда, на поверхности которого нанесены три искусственных трещины глубиной 0,3; 0,5; 1 мм.

При проведении испытаний использовалось следующее оборудование: тепловизор ТН9100ML фирмы NEC Avio для записи термографических последовательностей, в качестве источников нагрева применялась система индукционного нагрева. Нагрев образца осуществлялся двумя способами:

1. Витки индуктора расположены параллельно плоскости дефекта (вихревые токи протекают вдоль дефектов).
2. Витки индуктора расположены перпендикулярно плоскости дефектов.



Рисунок 3. Проведение индукционной инфракрасной термографии.

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.

1. Индукционный нагрев производился в течение 5 секунд. Образец проталкивался через витки индуктора со скоростью приблизительно 1 см/с. Фиксация результатов производилась сразу после прохождения им индуктора. Результаты представлены на рисунке 4.

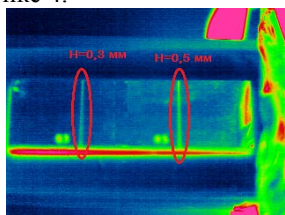


Рисунок 4. Термограмма 1

Из термограммы видно, что температура в области трещин выше, чем на бездефектных участках образца. Сигнал над трещиной глубиной 0,5 мм составил порядка 3,5 °С, а для трещины 0,3 мм порядка 1 °С. Ниже представлены графики полученные с помощью программы ThermoFit Pro (Рисунок 5), показывающие разность температур бездефектной области и трещин.

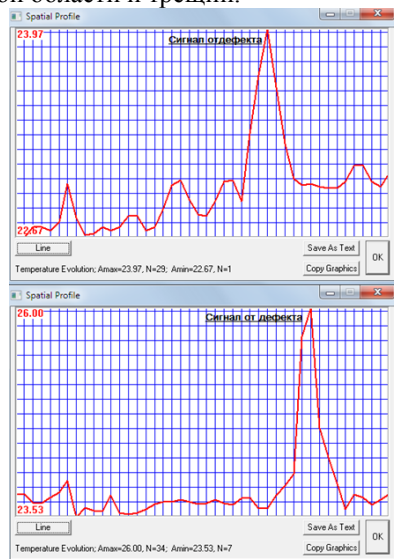


Рисунок 5. Графики, показывающие разность температур бездефектных областей и трещин глубиной 0,3 мм (верхний) и 0,5 мм (нижний)

2. При расположении индуктора перпендикулярно плоскости дефектов использовались те же параметры нагрева, что и в предыдущем случае. Результаты приведены ниже.

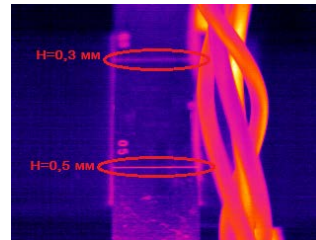


Рисунок 5. Термограмма 2.

Для трещины глубиной 0,3 мм сигнал над трещины составил так же порядка 1 °С, а для трещины глубиной 0,5 мм – около 5 °С. Графики приведены ниже.

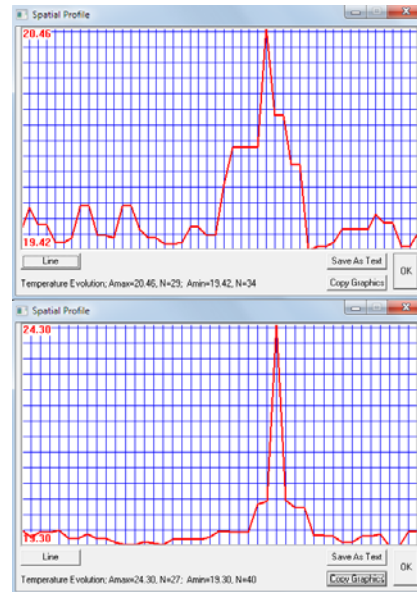


Рисунок 5. Графики показывающие разность температур бездефектных областей и трещин глубиной 0,3 мм (верхний) и 0,5 мм (нижний).

Как и ожидалось сигнал над трещинами оказался большим при расположении витков индуктора перпендикулярно направлению трещин.

Вывод.

В ходе экспериментальных исследований убедились, что индукционная инфракрасная термография является отличной альтернативой магнитопорошковому и вихретоковому методам контроля. А так же экспериментально установили, что витки индуктора необходимо располагать перпендикулярно предполагаемому направлению трещин. Из преимуществ метода можно выделить:

1. Скорость контроля (одновременно сканируется обширная площадь объекта);
2. Бесконтактность;
3. Высокая вероятность обнаружения дефектов;
4. Низкий уровень ложных сигналов (по сравнению с магнитопорошковым контролем);

Литература

1. Вавилов В.П. Инфракрасная термография и тепловой контроль. – М.: Спектр, 2009. – 570 с.
2. Бодажков В.А. Объемный индукционный нагрев. – СПб.: «Политехника», 1992. – 68 с.