

На рис.1 приведены фотографии одного и того же участка стали ШХ-15, сделанные при помощи микроскопа Olympus ВНМJ применением объективов  $40^x$  с апертурой 0,55,  $100^x$  с апертурами 0,9 и 1,25. В первых двух случаях (рис. 1 а и б) наблюдаются практически бесструктурные зерна (колонии перлита), которые можно трактовать как балл 1 по ГОСТ 8233-56. При использовании объектива с более высокой апертурой (рис. 1в) зерна приобретают волокнистую структуру, в некоторых местах становятся различимыми различимо пластинчатое строение перлита. Такую структуру нужно отнести к баллу 2 по ГОСТ 8233-56.

Данная ошибка может явиться причиной пропускания брака при контроле металлопродукции. Так по ТУ 14-15-254-91 не менее 30% структуры стальной канатной проволоки должно быть представлено пластинчатым перлитом первого балла.

Вывод.

В настоящей работе показана необходимость уточнения методики оценки высокодисперсных структур. В частности, необходимо внести предложение в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии об внесении изменения в ГОСТ 8233-56. Изменение должно содержать требования к разрешающей способности микроскопа или апертуре объектива при увеличении в  $1000^x$ , либо таблицу соответствия минимальных значений апертуры различным коэффициентам увеличений.

#### **Список использованных источников**

1. «ГОСТ 1778-70 Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений».
2. «ГОСТ 3443-87 Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры».
3. «ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы. Методы определения величины зерна».
4. «ГОСТ 5640-68 Сталь. Металлографический метод оценки микроструктуры листов и ленты».
5. «ГОСТ 8233-56 Сталь. Эталоны микроструктуры».
6. «ГОСТ 9391-80 Сплавы твёрдые спечённые. Методы определения твёрдости и микроструктуры».
7. «ГОСТ 21073.1-75 Металлы цветные. Определение величины зерна методом сравнения со шкалой микроструктур».
8. «ГОСТ Р ИСО 4967-2009 Сталь. Определение содержания неметаллических включений. Металлографический метод с использованием эталонных шкал».
9. «ОСТ 34-70-690-84 Металл паросилового оборудования электростанций Методы металлографического анализа в условиях эксплуатации».
10. «СТО 1723082.27.100.005-2008 Основные элементы котлов, турбин и трубопроводов ТЭС. Контроль состояния металла. Нормы и требования».
11. «ГОСТ 21022-75 Сталь хромистая для прецизионных подшипников».
12. «ГОСТ 801-78 Сталь подшипниковая. Технические условия».

## **АППАРАТУРА И МЕТОДИКИ ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ И УГЛЕПЛАСТИКА**

*Чулков А.О., Вавилов В.П.*

Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Институт неразрушающего контроля

### **Введение**

Необходимость обеспечения (повышения) качества продукции, в особенности, в высокотехнологичных отраслях промышленности (авиакосмической и военной технике,

ядерной энергетике, автомобиле- и судостроении и др.) стимулирует разработку и внедрение новых высокопроизводительных методов и средств неразрушающего контроля.

Благодаря автоматизации процессов производства, корпорация Airbus каждые 7 часов спускает с конвейера по самолету, в которых содержание композиционных материалов увеличивается с каждой новой моделью. Своевременно не выявленные дефекты композитов (расслоения, растрескивания и разрывы волокон) циклически разрушают целостность слоев композита в ходе взлета-посадки, что приводит к росту площади проблемных зон, подлежащих регулярной технической диагностики. Тепловой контроль, сочетающий высокую производительность испытаний и наглядную форму представления результатов, обеспечивает надежное выявление многих дефектов композитов [1,2].

Контроль коррозии задней стенки в металлических конструкциях, например, нефтехимических резервуарах, трубах большого диаметра и т.п., на практике весьма требователен к производительности и одностороннему характеру испытаний. Тепловой метод позволяет бесконтактно и оперативно контролировать объекты большой площади [3], а при использовании новых методов тепловой стимуляции способен обеспечить конкуренцию с более традиционными способами испытаний [4].

### Аппаратура ТК

В последнее время в лаборатории тепловых методов контроля Томского политехнического университета активно ведутся разработки портативного теплового дефектоскопа (рис. 1). Подобные приборы ориентированы на применения в условиях реальной эксплуатации объектов контроля: в условиях взлетно-посадочных полос и ангаров, если речь идет о неразрушающем контроле композиционных элементов планера самолета, а также на территории нефтехимических предприятий и атомных станций, если необходимо своевременно выявлять коррозию стальных резервуаров и контейнеров. В зависимости от области применения тепловой дефектоскоп комплектуется различными источниками тепловой стимуляции: галогеновыми лампами/импульсными ксеноновыми лампами для контроля композитов и галогеновыми/светодиодными лампами для контроля тонкостенных металлических оболочек.



Рис.1. Портативный тепловой дефектоскоп (варианты):

- а* – прототип универсального прибора (в качестве источников нагрева использованы галогеновые лампы суммарной мощностью 2 кВт);
- б* – дефектоскоп для контроля коррозии в стальных контейнерах (в качестве нагревателей использованы) охлаждаемые светодиодные панели суммарной мощностью 1 кВт)

Технические характеристики аппаратуры приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики прототипа дефектоскопического аппарата широкого применения

Параметр	Показатель
Объект контроля и его толщина	Сталь до 6* мм Углепластик до 4* мм
Размер зоны одновременного контроля	0,04 м
Производительность испытаний	4,7 м <sup>2</sup> /час
Предельный обнаруживаемый унос материала	10%
Минимальный обнаруживаемый размер коррозионного пятна	10 мм
Температурная чувствительность	0,02–0,06 °С**
Питание	Сеть 220 В
Масса	5–10 кг

\* В зависимости от типа источника тепловой стимуляции.

\*\* В зависимости от типа приемника ИК излучения.

### Методики проведения ТК углепластиков и металлов

Тепловой контроль в значительной степени остается качественным методом дефектоскопии, однако в настоящем исследовании использованы принципы дефектометрии. На основе решения трехмерной нестационарной задачи ТК рассчитаны зависимости безразмерного текущего контраста температуры  $C$  от поперечных размеров, толщины и глубины залегания дефектов, а также длительности времени нагрева, изображенные на рис. 2. Параметры минимальных обнаруживаемых дефектов ограничены экспериментальным контрастом шума  $C_n$ , который для большинства типов углепластика составляет  $\sim 5\%$  (при отношении сигнал/шум не менее 2). Например, из рис. 2 следует, что предельная обнаруживаемая глубина залегания воздушных расслоений различного размера в углепластике толщиной 5 мм при односторонней процедуре ТК равна 3.3-4 мм.

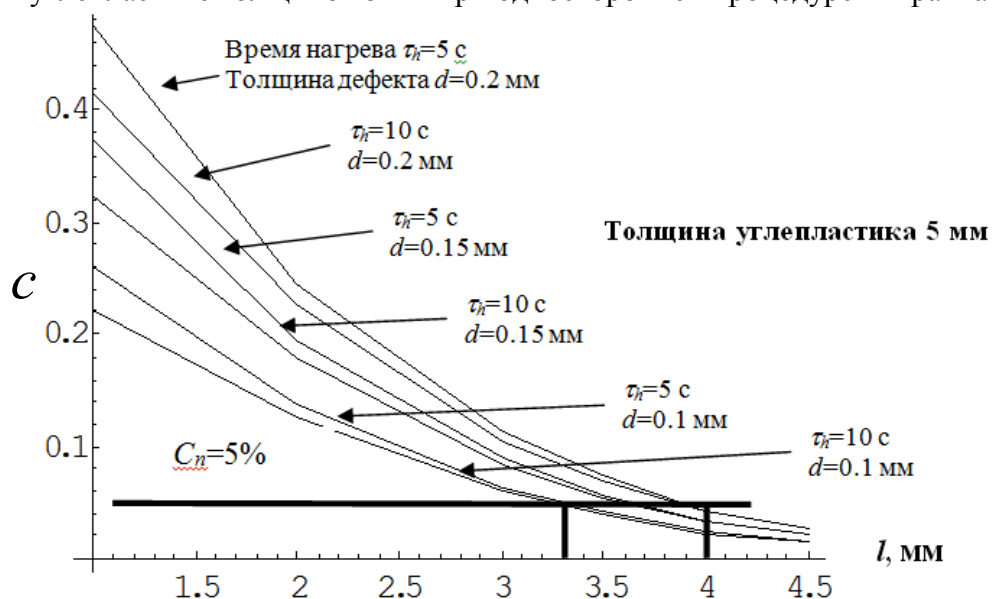


Рис. 2. Определение предельной глубины обнаружения воздушных расслоений в углепластике толщиной 5 мм при одностороннем ТК

Для определения предельных возможностей ТК коррозионных дефектов было выполнено численное решение соответствующей трехмерной задачи теплопроводности. Расчет проводили для стали Ст20 толщиной 1, 5, и 10 мм, причем размер пятна коррозии в расчетах был принят равным 10×10 мм. Нагрев осуществляли тепловым импульсом, что обеспечивало оптимальные условия дефектоскопии. Графически результаты представлены на рис. 3. Уровень шума по критерию безразмерного температурного контраста был принят равным 10%, что соответствует шумовому контрасту большинства окрашенных в различный цвет металлических поверхностей. Предел обнаружения для данных условий определяется уносом материала от 45 – 55% в зависимости от толщины объекта контроля.

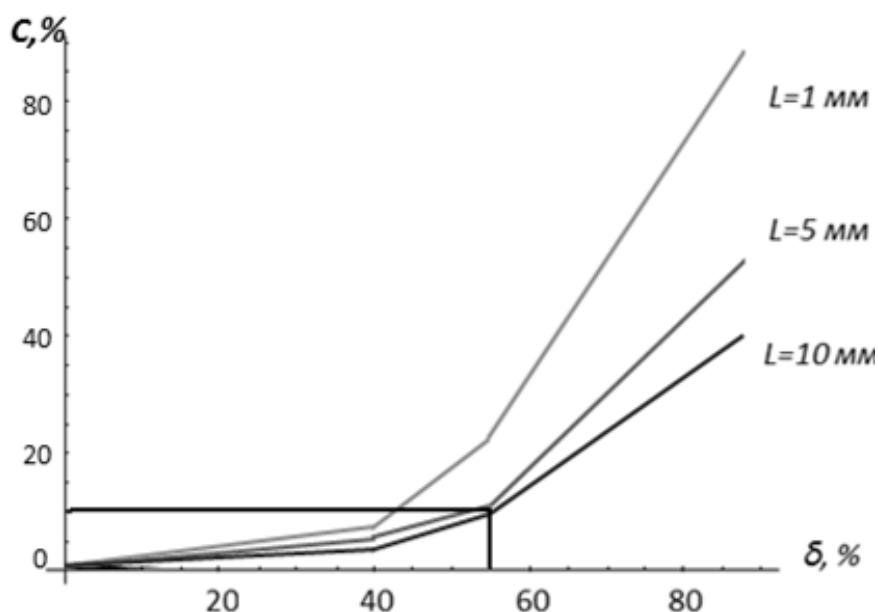


Рис. 3. Зависимость максимального контраста температуры в зоне коррозионных дефектов размером 10×10 мм в стали (кривые не сглажены)

### Заключение

С появлением дефектоскопических установок, предназначенных для контроля композиционных материалов и металлов, повышается доступность использования ТК в авиации, судостроении, атомной и нефтехимической промышленности. Портативное исполнение, автоматизированная процедура контроля и анализа полученных данных делают возможным эксплуатацию данных устройств одним оператором. При этом высокая производительность и достоверность испытаний становятся значимыми показателями теплового неразрушающего контроля.

### Список использованных источников

1. Вавилов В.П., W. Świdorski, Чулков А.О., Дерусова Д.А. Тепловой контроль композиционных материалов в авиакосмической промышленности: возрождение интереса и направления применения//В мире неразрушающего контроля– 2014– №2(64) – С. 47–54
2. Нестерук Д.А. Тепловизионный контроль воды в сотовых конструкциях самолетов– Lambert Academic Publishing, Saarbruecken , Germany– 2012.–188 С.
3. Ключев В.В. Неразрушающий контроль–Спр. под ред.– М.: Машиностроение– 2006– Т. 1–8
4. Вавилов В.П., Чулков А.О. Comparing thermal stimulation techniques in infrared thermographic inspection of corrosion in steel// IOP Conference. Series: Materials Science and Engineering– 2015– Vol. 81– P. 1–9