

# ТЕПЛОВОЙ КОНТРОЛЬ. ТОЧЕЧНЫЙ НАГРЕВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ахметханов Р.С.

Институт машиноведения им. А.А.Благонравова Российской академии наук, 4, М.Харитоньевский пер., Москва, 101990, Россия, [mibsts@mail.ru](mailto:mibsts@mail.ru)

Цель данной работы – разработка процедур обработки термограмм при точном нагреве композиционного материала с целью выявления дефектов.

Перейдем к рассмотрению термограмм при точечном нагреве. Для оценки локального термического воздействия на конструкционные материалы рассмотрим тепловой профиль (срез в плоскости). Он заключается в точечном ступенчатом нагреве объекта сфокусированным лазерным пучком с одновременной высокоскоростной регистрацией картины нестационарного температурного поля тепловизором. При точечном нагреве материала срез теплового поля выглядит следующим образом (рис.1). Распределение температурной зоны нагрева зависит от времени воздействия  $t$  на эту область ( $t \ll t_7$ ). При наличии дефектов или неоднородности срез будет с искажениями.

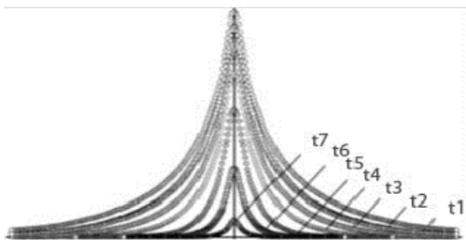


Рис. 1. Экспериментальная зависимость температуры  $T$  от расстояния до центра пятна нагрева  $r$  в листе нержавеющей стали 12Х18Н9Т толщиной 1 мм для разных моментов времени  $t$ .

На рисунке 2. приведены термограммы при точечном контроле в зоне без дефекта (а,б) и дефекта (в,г). В случае дефекта температура в зоне нагрева выше. Визуально видно, что тепловые пятна не симметричны. Несимметричность теплового пятна обусловлено неоднородностью материала и, как следствие неоднородности теплопроводности материала в разных направлениях.

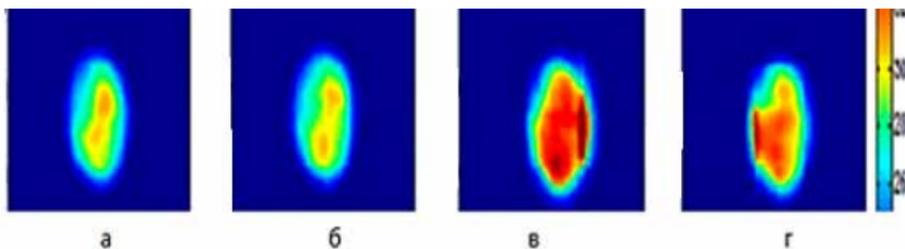


Рис. 2. Термограммы нагрева материала (а и б) в бездефектном материале и (в, г) дефектном материале

Рассмотрим статистические данные, которые приведенные в таблице 1. Они представлены в относительных единицах – градации серого (изображение термограммы в градации серого цвета, от черного к белому).

Таблица 1 - Таблица статистических данных термограмм при локальном нагреве

Термограммы	Сред. квадрат. отклонение	Асимметрия	Экссесс	Высота пика	Коэффициент вариации, %
Без дефекта	0,268225	1,14735	-0,287677	0,649339	50,48
При наличии дефекта	0,186305	0,444805	-1,65663	0,74793	55,034

В случаях дефекта в материале в области нагрева температура выше. Разница температур во многом обусловлена наличием дефекта, захватывающего тепло. Визуально видно, что тепловые пятна не симметричны. Несимметричность теплового пятна обусловлено неоднородностью материала и, как следствие неоднородности теплопроводности материала в разных направлениях. Наиболее это проявляется при наличии дефекта. Оценить отличия в тепловых пятнах помогает статистические характеристики теплового поля – эксцесс и асимметрия. Термограммы в дефектной области имели наибольший эксцесс и асимметрию по сравнению с соответствующей последовательностью.

На рис.3 представлены характеристики теплового поля в виде графиков, которые показывают особенности распределения температуры в зонах без дефекта и при наличии дефектов.

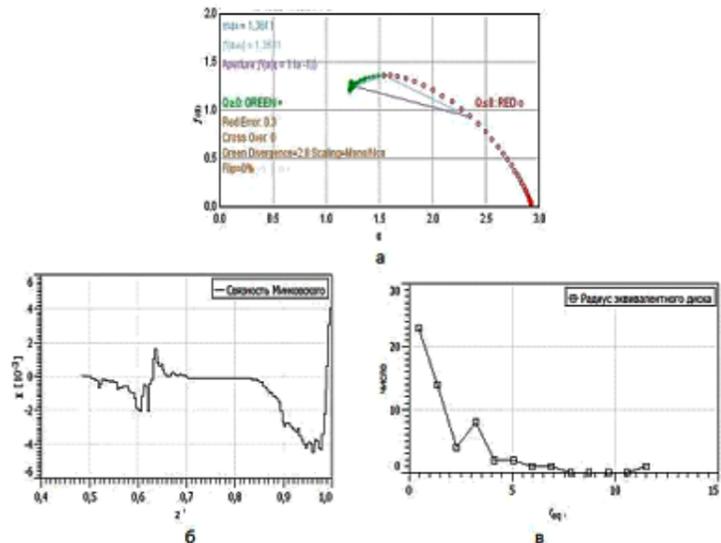


Рис. 3. Характеристики термограмм в бездефектной зоне: а – мультифрактальный спектр; б – связность Минковского; в – распределение по размерам зон с похожим уровнем температуры

Мультифрактальные спектры показывают распределения масштабных элементов (температур) в распределении локальных зон уровней деформации. А связность Минковского характеризует однородность распределения локальных зон с определенным уровнем деформации. График распределения среднего радиуса зон деформации с одинаковым уровнем деформации показывает вид распределения. При наличии дефектов они изменяются.

При наличии дефекта мульти-фрактальный спектр из моно-фрактального превращается в мульти-фрактальный спектр. Структура теплового поля (деформации) становится сложной.

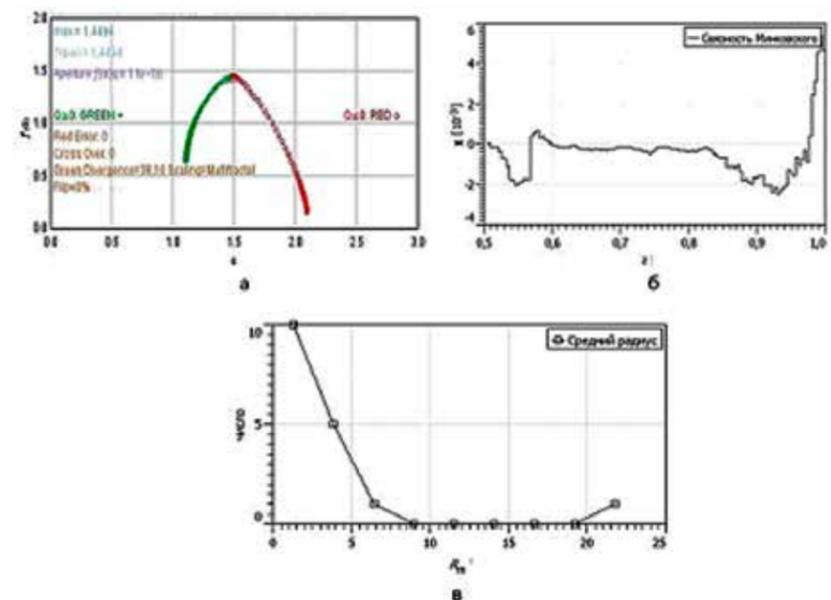


Рис. 4. Характеристики термограмм в дефектной зоне: а – мультифрактальный спектр; б – связность Минковского; в – распределение по размерам зон с похожим уровнем температуры

Таким образом, выявлены количественные отличия в пределах от 10% (коэффициент вариации) и до 475% (эксцесс) в случае теплового воздействия по приведенным термограммам для случаев без дефекта и наличия дефекта. Наиболее информативным критерием являются высота пика (температуры), эксцесс и коэффициент вариации.

При наличии дефекта мульти-фрактальный спектр из моно-фрактального превращается в мульти-фрактальный спектр. Структура теплового поля (деформации) становится более сложной. Тепловое поле имеет различные структурные особенности.

Работа выполнена при финансировании по гранту РФФИ №20-19-00769-П.