

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ЭКВИВАЛЕНТОВ УДАРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ В КОМПОЗИТАХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КОНТРОЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ В ТЕПЛОВОМ КОНТРОЛЕ

© 2025 г. В.П. Вавилов^{1*}, А.О. Чулков^{1**}, Олеся Алексеевна Ганина^{1***}

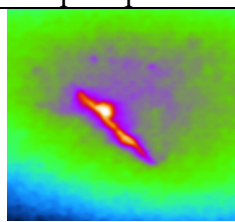
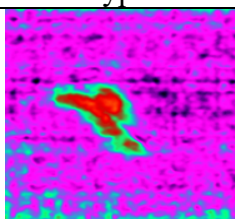
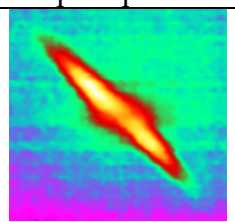
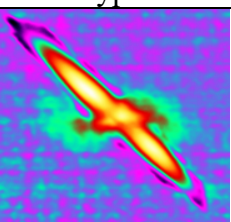
¹ – Национальный исследовательский Томский политехнический университет (НИ ТПУ),
634050 Томск, пр. Ленина, д. 30

* - vavilov@tpu.ru; ** - chulkovao@tpu.ru; *** - vsoa@tpu.ru

В данной работе были определены вид и параметры контрольных образцов для воспроизведения теплового отклика ударных повреждений, обеспечивающих тепловую эквивалентность реальных дефектов и их имитаторов. Эксперименты выполнены на образцах, описанных в [1]. Результаты ТК приведены в табл. 1.

Таблица 1

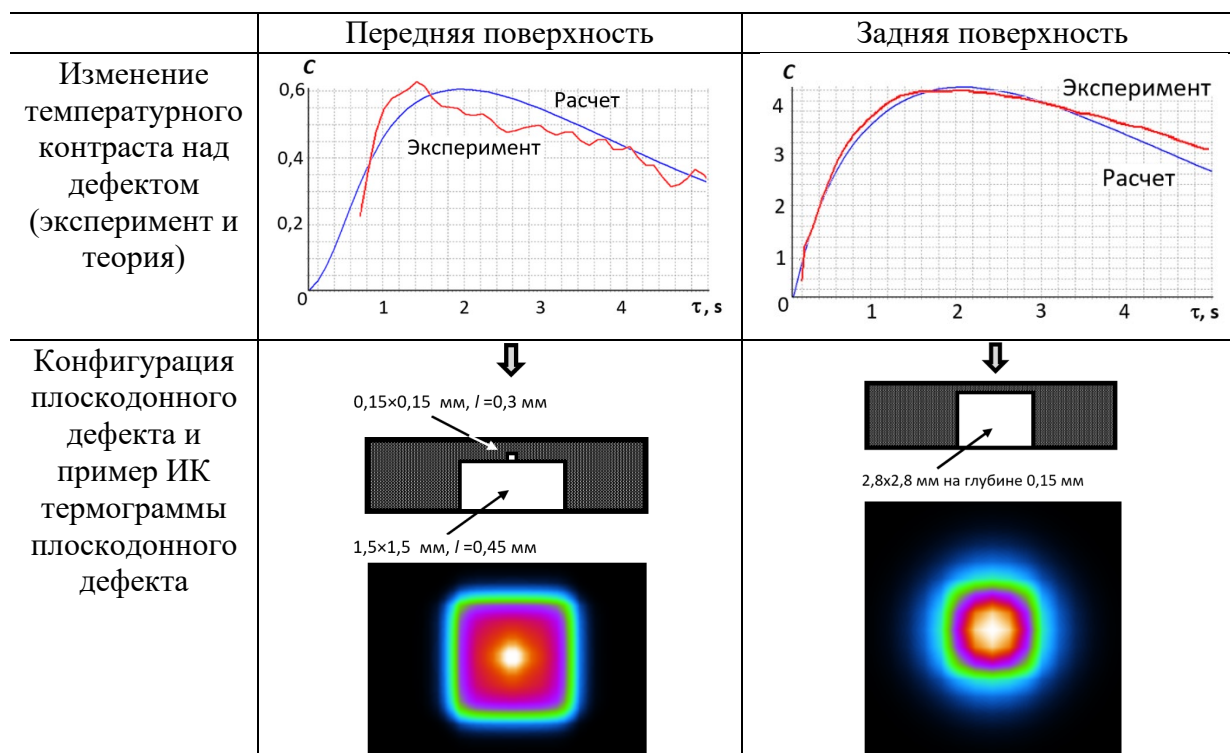
Результаты ТК ударных повреждений в углепластике

Изделие	Термограммы при одностороннем ТК			
	Передняя поверхность (зона удара)		Задняя поверхность	
	Исходная термограмма	Фазограмма Фурье	Исходная термограмма	Фазограмма Фурье
Толщина 1,6 мм, энергия удара 62 Дж, скорость 6,8 м/с				

При энергии удара 62 Дж дефектная отметка имеет вытянутую форму в соответствии с растрескиванием композита вдоль волокон, причем фазограмма Фурье иллюстрирует форму «бабочки» в зоне дефекта на задней поверхности. Вид дефектной отметки зависит от энергии удара и от локальных свойств композита в точке удара [2].

Численное моделирование ТК выполнено с помощью программы ThermoCalc-3D. В качестве критерия сравнения выбран безразмерный температурный контраст $C = \Delta T / T_{nd}$. Приведенные в табл. 2 размеры плоскодонных дефектов определены путем многократного расчета различных дефектных ситуаций, в результате чего был получен экспериментальный профиль контраста $C(\tau)$ (табл. 2) для передней и задней поверхностей [3, 4]. Экспериментальная проверка температурных откликов ударных повреждений и соответствующих плоскодонных дефектов в углепластиковом композите показала эффективность концепции тепловых эквивалентов дефектов при создании контрольных образцов в ТК и более эффективное проведение ТК со стороны, противоположной удару, что подтверждается результатами, приведенными в табл. 2.

Моделирование плоскостного теплового эквивалента ударного повреждения в углепластике толщиной 1,6 мм при одностороннем ТК и сравнение экспериментальных и теоретических результатов.



Тепловыми эквивалентами дефектов задней поверхности могут служить одиночные плоскостные дефекты, обладающие идентичными температурными откликами в точках с максимальными сигналами (в «центре тяжести» дефектов). На передней поверхности конфигурация плоскостных дефектов может быть более сложной, но во всех случаях плоскостные дефекты могут иметь круглую или квадратную форму при условии одинаковой поперечной площади.

Исследование выполнено в рамках государственного задания по проекту FSWW-2023-0004 Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вавилов В.П., Billard S., Айвазян В.М. Тепловой томограф для испытаний композиционных материалов // Дефектоскопия. 2014. № 11. С. 71–75.
2. Чулков А.О., Вавилов В.П., Нестерук Д.А., Бедарев А.М., Яркимбаев Ш., Шагдыров Б.И. Синтез данных активной инфракрасной термографии при оптической и ультразвуковой стимуляции изделий из углепластика сложной формы // Дефектоскопия. 2020. № 7. С. 54–60.
3. Umar MZ., Ahmad I., Vavilov V., Świdorski W., Hamzah AbR., Wan Abdullah WS. Developing methodology of pulsed thermal NDT of materials: Step-by-step analysis of reference samples // NDT.net – The e-Journal of Nondestructive Testing. 2008. www.ndt.net/search/docs.php3?MainSource=25.
4. Saeed N., Omar M.A., Abdulrahman Y., Dalem S. IR thermographic analysis of 3D printed CFRP reference samples with back-drilled and embedded defects // J. Nondestr. Eval. 2018. V. 37. Art. no. 59. <https://doi.org/10.1007/s10921-018-0512-2>.