

3. Kalashnikova, T.; Chumaevskii, A.; Kalashnikov, K.; Fortuna, S.; Kolubaev, E.; Tarasov, S. Microstructural Analysis of Friction Stir Butt Welded Al-Mg-Sc-Zr Alloy Heavy Gauge Sheets. Metals 2020, 10, 806.

## РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ ИСКУССТВЕННЫХ ДЕФЕКТОВ В УГЛЕПЛАСТИКАХ

*А.А. КОНОНОВА, М.В. БУРКОВ*

Томский политехнический университет

E-mail: [aak202@tpu.ru](mailto:aak202@tpu.ru)

Современные конструкции гражданской, морской, авиационной и аэрокосмической промышленности характеризуются сложностью, повышенными требованиями к эксплуатационным характеристикам и обеспечению минимальной массы. Композитные материалы обладают более высокими механическими свойствами по сравнению с металлами и сплавами [1]. Однако остаточная прочность композитов может быть значительно снижена из-за наличия повреждений и дефектов. Более полное понимание механического поведения можно обеспечить совместным анализом экспериментов и компьютерного моделирования. Целью данной работы является разработка конечно-элементных моделей дефектов в углепластиках и их экспериментальная верификация.

Объект исследования – композитные пластины (100x150 мм) с искусственными расслоениями из фторопласта диаметрами 10, 20 и 40 мм и глубиной залегания 2, 6 и 10 слоев, расположенными в центре. Толщина образцов 2.5 мм, укладка [0/90]<sub>5S</sub>. Углепластики подвергались испытанию на остаточную прочность по стандарту ASTM D 7137 [2] и моделировались МКЭ с помощью ABAQUS и подпрограммы VUMAT, реализующей повреждения по критерию Хашина [3].

В таблице 1 приведены результаты расчета остаточной прочности на сжатие в SIMULIA ABAQUS, а также результатов аналитического расчета напряжения потери устойчивости при такой схеме нагружения и данные натуральных экспериментов.

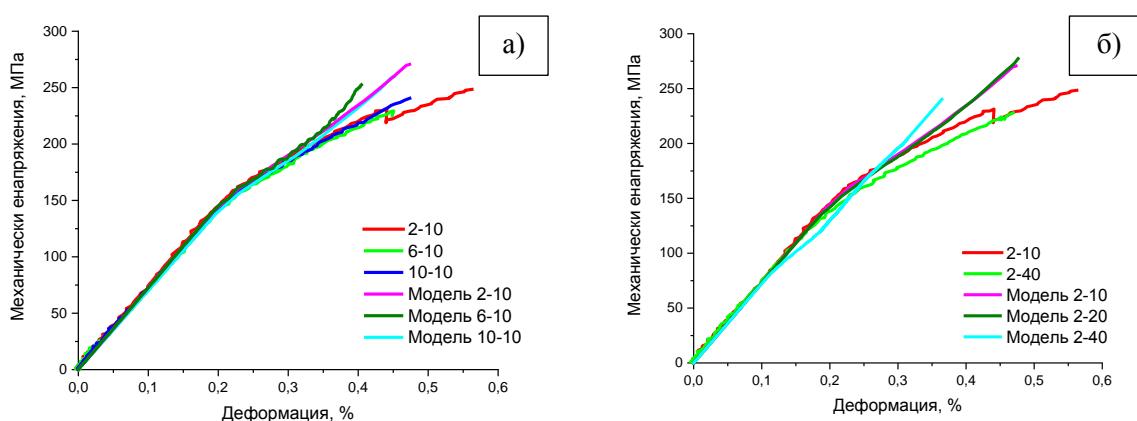
Таблица 1 – Результаты экспериментов

Образец	Натурный эксперимент			Моделирование			Аналитический расчет
	Остаточная прочность, МПа	Деформация разрушения, %	Среднее значение остаточной прочности, МПа	Остаточная прочность, МПа	Деформация разрушения, %	Среднее значение остаточной прочности, МПа	Критическое напряжение потери устойчивости, МПа
2-10	248.47	0.56	227.68±20.10	270.61	0.47	243.34±24.68	265.99
2-20	-	-		277.32	0.48		
2-40	227.93	0.47		240.27	0.36		
6-10	229.38	0.45		252.53	0.40		
6-20	240.96	0.50		210.00	0.36		
6-40	200.24	0.67		224.41	0.39		
10-10	240.61	0.47		259.99	0.45		
10-20	239.98	0.43		245.21	0.41		
10-40	193.85	0.79		209.71	0.37		

При анализе результатов моделирования и натурального эксперимента было выявлено, что выбранная толщина образца и схема укладки не позволяют получить достоверные

результаты определения прочности на сжатие пластин при данных условиях проведения эксперимента, что связано с потерей устойчивости образцов и возникновением изгибной деформации, что также подтверждается аналитическими расчетами. При этом данные моделирования и натурного эксперимента имеют хорошее соответствие.

Отмечено, что глубина залегания (рисунок 1а) и размер дефекта (рисунок 1б) не оказывают значительного влияния на остаточную прочность углепластика, так как во всех образцах происходит общая потеря устойчивости. Разрушение образца при проведении натурного эксперимента происходит под захватами испытательной машины, из-за концентрации напряжения вблизи точки закрепления. При моделировании образцы все без исключения разрушались по центру, что объясняется некоторой идеализацией эксперимента в модели. Также данный факт объясняет несколько завышенные показатели остаточной прочности при моделировании.



а) дефект диаметром 10мм; б) 2 слоя

Рисунок 1 – Диаграмма нагружения на сжатие образцов углепластика в зависимости от глубины залегания и размера дефекта

### Список литературы

1. Молчанов Б. И., Гудимов М. М. Свойства углепластиков и области их применения //Авиационная промышленность. – 1997. – №. 3-4. – С. 58-60.
2. ASTM-D7137, Standard Test Method for Compressive Residual Strength Properties of Damaged Polymer Matrix Composite Plates, Tech. rep. West Conshohocken (PA, USA): American Society for Testing and Materials (ASTM), 2007.
3. Hashin Z. Fatigue failure criteria for unidirectional fiber composites. – 1981.

## ИСПЫТАНИЯ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОЙ ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ УГЛЕПЛАСТИКОВ С УДАРНЫМ ПОВРЕЖДЕНИЕМ: МОДЕЛЬ И ЭКСПЕРИМЕНТ

*А.А. КОНОНОВА, М.В. БУРКОВ*

Томский политехнический университет

E-mail: [aak202@tpu.ru](mailto:aak202@tpu.ru)

Ударные повреждения оказывают значительное влияние на остаточную прочность композитных материалов [1]. Одним из эффективных способов изучения механики повреждений, понимания принципов, лежащих в основе различных методов испытаний,