

УДК 621

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СКВОЗНЫХ ОТВЕРСТИЙ
В УГЛЕПЛАСТИКАХ В ПРОЦЕССЕ ФОРМОВАНИЯ****Буянов И.А., Малышева Г.В., Гузева Т.А., Федоров А.А.***ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)», Москва, e-mail: buyanov@bmstu.ru,
malyin@mail.ru, nta29@mail.ru, mgtumash2015@yandex.ru*

Статья посвящена исследованию свойств полимерных композиционных материалов (угле- и органо-пластики), широко используемых в различных областях техники, в том числе и в ракетно-космическом производстве, в качестве конструкционных материалов. Представлена технология изготовления деталей из углепластиков со сквозными отверстиями непосредственно в процессе их формования. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований оценки напряжений и перемещений для 3-х типов образцов углепластиков, которые отличались между собой технологией изготовления одного сквозного отверстия, при их испытании на растяжение. Углепластики изготавливали по технологии вакуумной инфузии. Для изготовления отверстий непосредственно в процессе формования использована специальная конструкция оснастки, в которой установлены втулки, позволяющие, путем раздвигания ткани, получать в процессе формования детали со сквозными отверстиями. Проведены механические испытания образцов углепластиков со сквозными отверстиями, а также исследования микроструктуры поверхности углепластиков в местах сквозного отверстия. Установлено, что прочность образцов с одним сквозным отверстием, полученным в процессе выкладки, на 21,4% выше, чем для аналогичных образцов, в которых отверстие получено путем сверления.

Ключевые слова: композиционные материалы, технология, полимеры, углепластики, сквозные отверстия, формование, вакуумная инфузия

**MODERN TECHNOLOGIES OF OBTAINING CROSS-HOLE HOLES
IN CARBON PLASTICS IN THE PROCESS OF FORMATION****Buyanov I.A., Malysheva G.V., Guzeva T.A., Fedorov A.A.***Federal State Budgetary Education Institution of Higher Education «Bauman Moscow State
Technical University» (BMSTU), Moscow, e-mail: buyanov@bmstu.ru, malyin@mail.ru,
nta29@mail.ru, mumc@bmstu.ru, mgtumash2015@yandex.ru*

The article is devoted to the study of the properties of polymer composite materials (carbon and organic plastics) widely used in various fields of engineering, including rocket and space production, as structural materials. The technology of manufacturing details from carbon plastics with through holes is presented directly in the process of their forming. The results of theoretical and experimental studies of the evaluation of stresses and displacements for 3 types of samples of carbon plastics, which differed from each other by the technology of making one through hole, were tested for tension. Carbon plastics were manufactured using vacuum infusion technology. For the production of holes directly in the process of molding, a special construction of the tooling is used, in which bushings are installed, allowing, by expanding the fabric, to receive parts with through holes during the forming process. Mechanical testing of carbon fiber reinforced plastic samples with through holes was carried out, as well as microstructure investigations of the surface of carbon plastics in the places of the through hole. It was found that the strength of samples with one through hole obtained during the laying is 21.4% higher than for similar samples in which the hole was obtained by drilling.

Keywords: composite materials, manufacturing, polymers, carbon-reinforced plastic, the through-hole molding, vacuum infusion

Сегодня создание и использование композиционных материалов становятся одним из приоритетных направлений инновационного развития, поскольку именно в этой области разрабатываются самые современные изделия в авиастроении, ракетно-космическом производстве, медицине, энергетике.

Основным отличием конструкций из композитов от деталей и изделий, изготовленных из других материалов, является тот факт, что материал, конструкция и технология создаются одновременно, и свойства материала каждый раз формируются заново в процессе производства конкретных конструкций [1–2]. Однако следует учесть, что

под термин «композит» попадают не только подавляющее большинство полимерных материалов, но и керамика, стекла, металлокомпозиты и многие другие. Согласно сформулированному принципу единого конструкторско-технологического решения создание композиционного материала, разработка технологии и конструирование детали – это единый, взаимосвязанный процесс с несколькими этапами оптимизации. Критерии выбора оптимального конструкторско-технологического решения могут быть самыми различными. Чаще всего используют показатели себестоимости или надежности [3].

Углепластики, по мнению многих специалистов [4, 5], являются одними из наиболее востребованных материалов для современного авиастроения. Области их применения постоянно расширяются, и в конструкциях современных летательных аппаратов они составляют уже более 50 %.

Существует множество видов углепластиков, отличающихся структурой и свойствами используемых углеродных наполнителей, химической природой полимерной матрицы [6, 7], технологиями формования [8, 9] и способами отверждения [10]. Однако для деталей из углепластиков, независимо от свойств используемых материалов и технологий формования, используется очень ограниченное количество методов их сборки.

Наибольшее распространение получили резьбовые соединения, для которых необходимо наличие отверстий для крепежных элементов. Для получения сквозных отверстий используется технология сверления, которая ограничено используется при сборке деталей из углепластиков, что связано с повреждением волокон в процессе резания и, соответственно, снижением деформационно-прочностных характеристик углепластиков.

Целью данной работы является разработка технологии изготовления деталей из углепластиков со сквозными отверстиями непосредственно в процессе их формования.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследований были изготовлены 3 типа образцов углепластиков, которые отличались между собой технологией изготовления одного сквозного отверстия [11]. Первый тип образцов не имел отверстий, в образцах второго типа отверстие было изготовлено путем сверления и в образцах третьего типа отверстие получали путем выкладки тканей на специальную оснастку (табл. 1).

Для изготовления углепластиков использована углеродная ткань SAATI UT 350 (толщиной 0,25 мм,

с поверхностной плотностью 350 г/м²) и эпоксидное связующее на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-20 (молекулярная масса 390 г/моль, содержание гидроксильных групп 1,7%, плотность 1130 кг/м³, содержание летучих групп не более 1%) и изометилтетрагидрофталяевого ангидрида (молекулярная масса 170 г/моль). Образцы углепластиков формовали по технологии вакуумной инфузии, что было связано с ее низкой себестоимостью и высоким качеством формования [12].

Для получения отверстий непосредственно в процессе формования углепластиков была разработана и изготовлена специальная оснастка, в которой установлены втулки, позволяющие, путем раздвигания ткани при выкладке получать в процессе формования детали со сквозными отверстиями.

Механические испытания углепластиков проводили на универсальной испытательной машине марки Zwick/Roell. Микроструктуру образцов исследовали на растровом электронном микроскопе PhenomProX.

Результаты исследования и их обсуждение

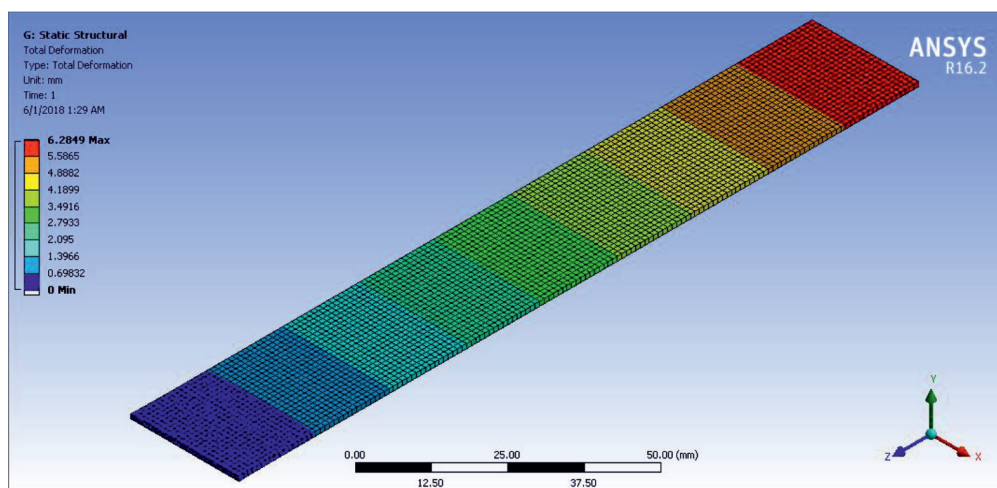
В табл. 2 приведены средние значения результатов механических испытаний, полученных при испытаниях 5 образцов каждого типа.

Из полученных данных следует, что наличие сквозного отверстия у изготовленных образцов углепластиков привело к снижению прочности и уменьшению деформации при растяжении. По сравнению с образцом без отверстия, прочность образцов с отверстием, изготовленным в процессе формования, снизилась на 38 %, а для образцов, отверстия в которых получены сверлением, – на 49 %. Таким образом, прочность образцов с одним сквозным отверстием, полученным в процессе выкладки, на 21,4 % выше, чем при сверлении. Аналогичные результаты получены и при исследовании деформаций. Наличие сквозного отверстия привело к снижению деформации (по сравнению с образцом без отверстия) на 33 % независимо от метода получения отверстия.

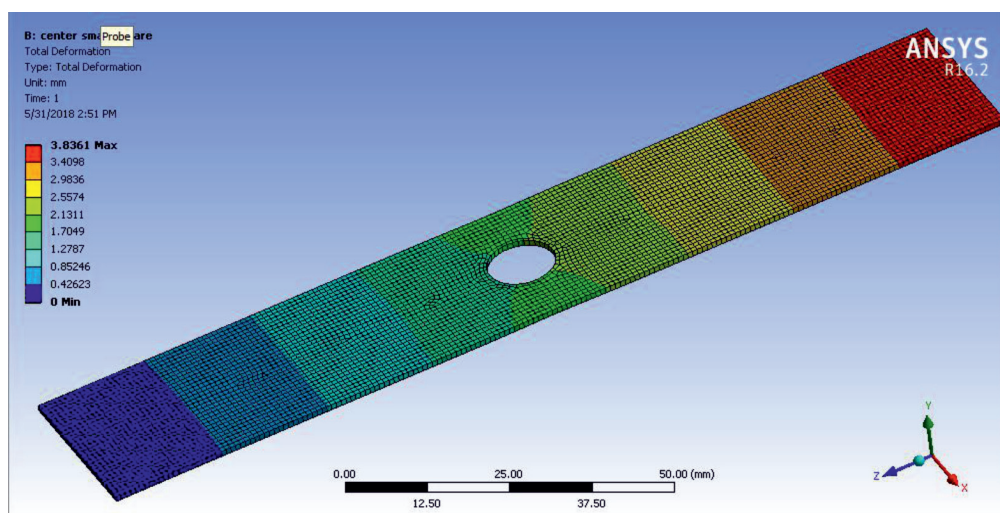
Таблица 1

Размеры и технология изготовления образцов

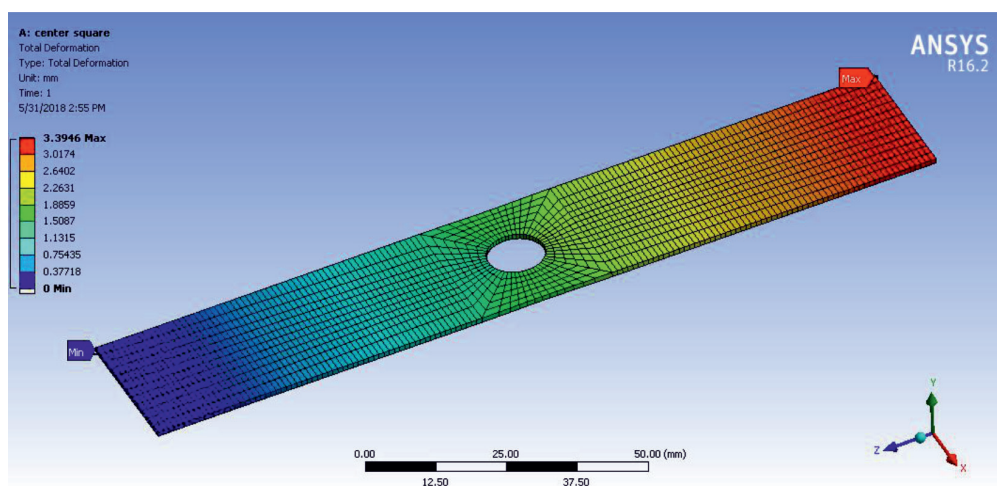
Характеристики	Тип образца		
	1	2	3
Геометрические размеры, мм	150x25x2		
Количество слоев углеродной ткани	5		
Схема выкладки, °	0		
Наличие сквозного отверстия	нет	да	
Диаметр отверстия, мм	нет	10	
Способ получения отверстия	нет	Сверление	Выкладка на специальную оснастку
Технология изготовления образцов	Вакуумная инфузия		



а)



б)



в)

Рис. 1. Анализ напряженно-деформированного состояния углепластика по деформациям для:
 а) образца без отверстия; б) образца с отверстием, полученным сверлением;
 в) образца с отверстием, полученным в процессе формования

Анализ напряженно-деформированного состояния проводили в программе Ansys. Схема нагружения и закрепления была полностью аналогична эксперименту, т.е. с одной стороны была заделка, с другой прикладывали нагрузку, в зависимости от которой определяли значение напряжений и перемещений. Анализ полученных результатов расчетов (рис. 1) показывает, что

наибольшими являются значения напряжений и деформаций, полученные для образца первого типа.

По величине деформаций образцы второго и третьего типов близки между собой, однако отличаются по величине напряжений, значения которых для образцов третьего типа выше, чем для образцов второго типа.

Таблица 2

Значения разрушающего напряжения и деформаций для образцов углепластиков

Характеристика образцов углепластиков	Разрушающие напряжения при растяжении, МПа	Деформация, %
Образец без отверстия	550	5,2
Образец с отверстием, полученным путем сверления	280	3,5
Образец с отверстием, полученным в процессе формования	340	3,4

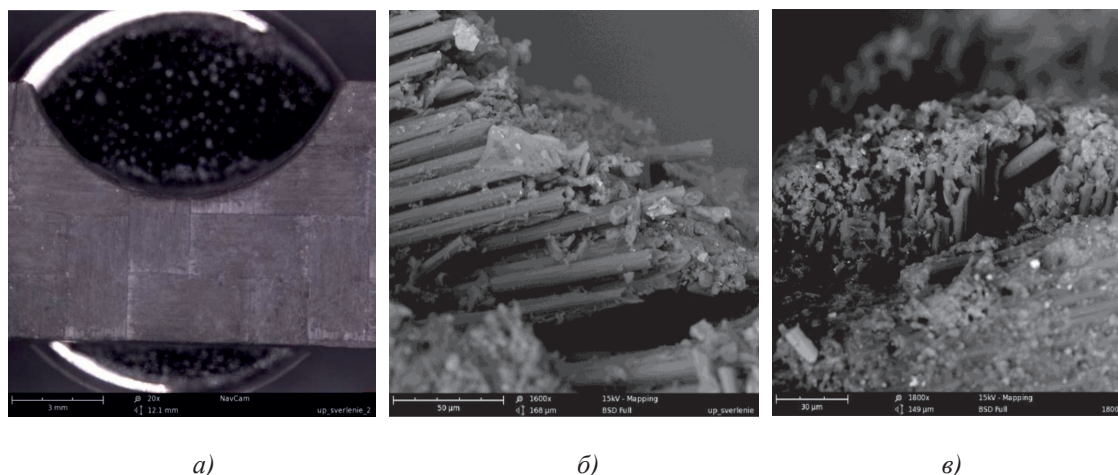


Рис. 2. Микроструктура поверхности углепластиков в месте сквозного отверстия, полученного, сверлением при увеличении: а) $\times 20$; б) $\times 1600$; в) $\times 1800$

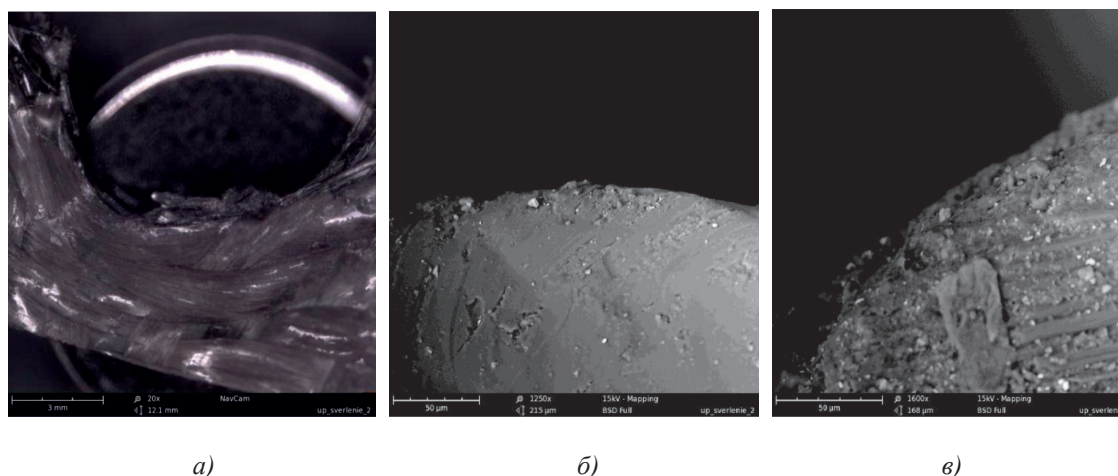


Рис. 3. Микроструктура поверхности углепластиков в месте сквозного отверстия, полученного в процессе формования, при увеличении: а) $\times 20$; б) $\times 1250$; в) $\times 1600$

Микроструктура образцов углепластика в местах сквозного отверстия приведена на рис. 2, 3. Анализ полученных фото показывает, что погрешности формы отверстия, полученного сверлением (рис. 2, а), существенно меньше, чем отверстия, полученного путем выкладки (рис. 3, а).

Однако при большем увеличении хорошо видны поврежденные в процессе сверления волокна (рис. 2, б, в), тогда как для отверстия, полученного в процессе формования, такие дефекты практически отсутствуют (рис. 3, б, в).

Выводы

Современные конструкции деталей из полимерных композиционных материалов, используемые в авиационной и ракетно-космической промышленности, характеризуются наличием большого количества сквозных отверстий, необходимых для установки крепежных элементов.

Среди полимерных композиционных материалов углепластики находят все большее распространение благодаря комплексу уникальных деформационно-прочностных и теплофизических свойств. В условиях массового производства изделия из углепластиков, как правило, получают с использованием препреговых технологий, а в условиях единичного производства – технологии вакуумной инфузии.

Такие технологии позволяют предусмотреть возможность изготовления сквозных отверстий в деталях непосредственно в процессе формования.

Используемая конструкция оснастки, в которой установлены втулки, позволяющие, путем раздвигания ткани, получать в процессе формования детали со сквозными отверстиями. В процессе исследования проведен анализ напряженно-деформированного состояния образцов углепластиков с отверстиями, полученными путем сверления и непосредственно на оснастке, а также механические испытания образцов углепластиков со сквозными отверстиями. Установлено, что прочность образцов с одним сквозным отверстием, полученным в процессе выкладки, на 21,4% выше, чем для аналогичных образцов, в которых отверстие получено путем сверления.

В результате проведенного исследования микроструктуры поверхности углепластиков непосредственно в местах сквозно-

го отверстия установлено, что на образцах с просверленным отверстием имеет место повреждение волокон. Данный дефект полностью отсутствует у образцов, сквозные отверстия в которых были получены путем выкладки на оснастку, т.е. непосредственно в процессе формообразования.

Таким образом, это позволило не только повысить качество изготавливаемых деталей из полимерных композиционных материалов, но и снизить их себестоимость.

Список литературы

1. Баженов С.Л. Полимерные композиционные материалы / С.Л. Баженов, А.А. Берлин, А.А. Кульков, В.Г. Ошмян. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. – 352 с.
2. Михайлин Ю.А. Волокнистые полимерные композиционные материалы в технике. – СПб.: Изд-во «Научные основы и технологии», 2013. – 720 с.
3. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин: учебное пособие. – М.: МАДИ, 2016. – 264 с.
4. Резник С.В., Денисов А.В., Нелюб В.А., Бородулин А.С., Буянов И.А., Чуднов И.В. Исследования теплопроводности углепластиков в широком диапазоне эксплуатационных температур с использованием элементов натуральных конструкций // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2012. – № 3. – С. 2–6.
5. Нелюб В.А. Характеристики межфазных слоев полимерных композиционных материалов // Клеи. Герметики. Технологии. – 2013. – № 6. – С. 23–25.
6. Петрова А.П., Малышева Г.В. Клеи, клеевые связующие и клеевые препреги: учебное пособие / под общ. ред. Е.Н. Каблова. – М.: ВИАМ, 2017. – 472 с.
7. Комкова Т.Ю., Холин М.С., Чернышова П.И. Разработка композиционного материала системы AL-AL2O3, получаемого методом пластической деформации // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. – С. 164.
8. Брекалов В.Г., Терехова Н.Ю. Технология прототипирования при создании физических моделей из полимерных материалов // Все материалы. Энциклопедический справочник. – 2015. – № 4. – С. 6–9.
9. Нелюб В.А., Гращенко Д.В., Коган Д.И., Соколов И.А. Применение прямых методов формования при производстве крупногабаритных деталей из стеклопластиков // Химическая технология. – 2012. – № 12. – С. 735–739.
10. Цибизова Т.Ю., Гузева Т.А. Системы автоматического управления технологическими процессами отверждения изделий из полимерных композитов // Клеи. Герметики. Технологии. – 2015. – № 5. – С. 35–40.
11. Смердов А.А., Таирова Л.П., Баслык К.П., Артемьев А.В., Нелюб В.А., Бородулин А.С. Расчетно-экспериментальный анализ двух типов структур из углепластика для крупногабаритных ракетно-космических конструкций // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 7 (19). – С. 28.
12. Городецкий М.А., Тепишкина Е.С., Чирва П.И. Типовые проблемы при выборе вспомогательных материалов для инфузионных технологий формования изделий из стеклопластиков // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2017. – № 4. – С. 60–65.