

**СОЗДАНИЕ ДЕФЕКТНОЙ УГЛЕПЛАСТИКОВОЙ ПАНЕЛИ
ДЛЯ ОТРАБОТКИ МЕТОДОВ ЕЕ КОНТРОЛЯ И ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ****С.Н. Цыпышева**

tssn17p061@student.bmstu.ru

SPIN-код: 7134-7728

К.А. Терновских

ternovskikhka@student.bmstu.ru

SPIN-код: 9481-1413

Цзя Чжэньюань

yurajia@gmail.com

SPIN-код: 7263-7750

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация**Аннотация**

Подробно описан процесс создания дефектной композиционной панели методом контактного формования для отработки метода неразрушающего контроля и анализа результатов сверления искусственно разупрочненных участков углепластиковой панели. В процессе изготовления углепластиковой панели в ее структуру в соответствии с шаблоном заложены дефекты, приводящие к нарушению адгезии в структуре «волокно — связующее» и наиболее эффективно контролируемые методами неразрушающего контроля. Обозначены дальнейшие направления исследования панели-образца для детального изучения результатов, полученных с помощью метода акустической эмиссии

Ключевые слова

Дефекты композиционной детали, адгезия, расслоение, метод контактного формования, углеродный препрег, метод акустической эмиссии, метод неразрушающего контроля

Поступила в редакцию 31.05.2021

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021

Введение. Композиционные материалы являются наиболее перспективным классом материалов, применение которых в последние годы растет в ракетно-космической технике. Причины популярности данного материала обусловлены малым удельным весом, высокой прочностью и жесткостью, а также другими уникальными свойствами. При росте объемов внедрения композитов будут все острее подниматься вопросы, связанные с диагностикой качества изделий, изготовленных из этих материалов, а также вопросы их обработки сверлением. Как показал анализ, современные методы неразрушающего контроля не решают стоящие перед отраслью задачи выявления дефектов в композиционных материалах. Ряд методов не позволяет распознать некоторые характерные дефекты в композитных конструкциях, в частности, расслоение и отсутствие достаточной адгезионной прочности в структуре «волокно — связующее». Однако методы сверлильной обработки, применяемый инструмент и методы обработки далеко не всегда позволяют получать высокое качество поверхности, сопровождаются деталями такими дефектами, как расслоение, вытягивание волокон, разлохмачивание и образование заусенцев, задиры и сколы [1]. Для оценки

эффективности методов контроля дефектов и сверления композитов необходим опытный образец изделия (углепластиковая панель), изготовленная методом ручной выкладки — широко используемым методом производства изделий из композиционных материалов [2].

Применение панели подразумевает отработку новых методов оценки качества и выявления дефектов, а также изучение возможностей применения новых подходов к решению проблем механической обработки, в частности сверления материала [3, 4]. Для этой цели в МИЦ МГТУ им. Н.Э. Баумана «Композиты России» методом контактного формования с использованием препрега [2] на основе углеродной ткани и связующего была вручную послойно (восемь слоев) выложена панель-образец для испытаний с искусственно внесенными дефектами. Последовательность укладки восьми слоев соответствовала схеме $0^\circ / 0^\circ / 0^\circ / 0^\circ / 0^\circ / 0^\circ / 0^\circ / 0^\circ$.

Для отработки методики неразрушающего контроля были внедрены дефекты: расслоение материала путем промазывания нитей композиционного волокна маслом или заложение образца из полиэтиленовой пленки, что приводит к нарушению адгезии волокна и связующего. Дефекты было решено распределить по панели с учетом их размеров и глубины залегания. Это необходимо для формирования базы данных дефектов и отработки методов неразрушающего контроля [5–7].

Панель была разделена на шесть зон, используемых для опытов. Для создания этих зон на панели был создан трафарет из фанеры с отверстиями разного диаметра для более точного расположения укладываемых дефектов по толщине панели и копирования расположения слоев за слоем (см. рис. 1, а, б).

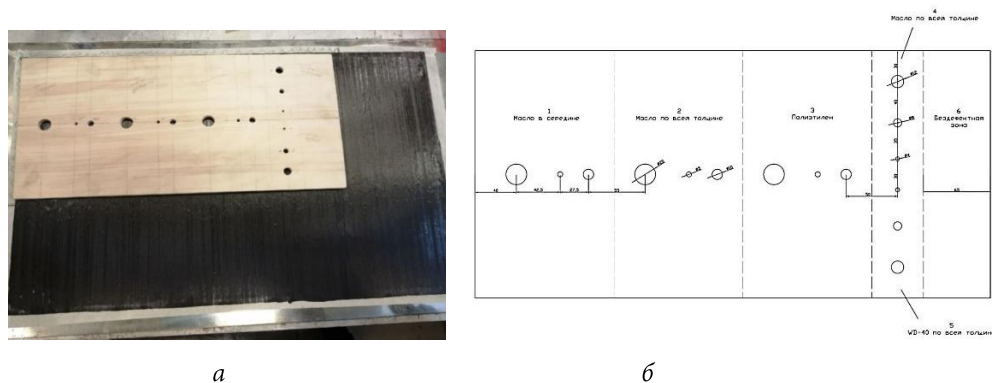


Рис. 1. Маркировка и распределение дефектных зон композиционной панели:

а — трафарет; б — схема зонирования и маркировка областей

Более подробно рассмотрим каждую из пяти зон, которые подразделяются на две отдельные зоны для разных экспериментов.

Первые три зоны, каждая из которых включает в себя по три отверстия диаметром 5, 10 и 20 мм, нужны для оценки дефектов методами неразрушающего контроля. Последние три зоны необходимы для сравнения качества поверхно-

сти отверстий и величин сил резания в результате сверления в областях с расслоением и без него. Четвертая и пятая зоны включают в себя по три отверстия, диаметры которых равны диаметрам сверл: 4, 8 и 12 мм.

Первая зона подвергалась расслоению в результате воздействия машинного полусинтетического масла марки ЛУКОЙЛ люкс SAE 5W-40, API SJ/CF. Масло наносили в зону с четвертого по седьмой слою включительно.

Вторая и четвертая зоны подвергались дефекту расслоения также в результате воздействия машинного полусинтетического масла марки ЛУКОЙЛ люкс SAE 5W-40, API SJ/CF. Масло было нанесено после укладки каждого слоя препрега, кроме последнего.

Третья зона подвергалась расслоению в результате укладки между слоями пленки из полиэтилена высокого давления (ПВД) по «трафарету». Пленку помещали после каждого слоя препрега, кроме восьмого.

Пятая зона подвергалась расслоению в результате воздействия универсальной смазки WD-40, состав которой включает разные продукты перегонки нефти. Смазка была нанесена после укладки каждого слоя препрега, кроме последнего.

Шестая зона не подвергалась внедрению дефектов, она является бездефектной с точки зрения технологии изготовления.

Расположение зон на панели показано на рис. 1, б.

Для создания композитной панели был применен метод контактного формования при низком давлении с последующим отверждением связующего с использованием препрегов — композиционных материалов-полуфабрикатов, состоящих из волокнистого армирующего наполнителя и нанесенного на него с двух сторон связующего.

Процесс получения композита можно подразделить на несколько этапов [2]. Процесс создания панели показан на рис. 2.

Первый этап — подготовительный, он начинается с раскроя препрега RM18/200UD/36%/UMT49-12K/100 и подготовки оснастки — подложки. Далее необходимо провести механическую, а также химическую очистки подложки с помощью универсального обезжиривателя (по ТУ 0251-009-57859009-2015). Затем наносят разделительный высокотемпературный воск и полируют поверхность, кроме мест, где в последующем будет крепиться герметизирующий жгут. Эти места обрабатывают ацетоном (по ГОСТ 2768–84).

На втором этапе проводят послойную укладку препрегов. Последний слой накрывают перфорированной пленкой, на которую помещают впитывающий слой. На третьем этапе форму накрывают вакуумной пленкой, которую прикрепляют по периметру подложки с помощью клейкого жгута, устанавливают вакуумный штуцер и герметизируют форму.

Для интенсификации процесса полимеризации заготовки используют инфракрасную коротковолновую лампу Trommelberg IR3C Standard. Затем панель помещают в печь при температуре 170 °С на 3 ч для отверждения [1, 8].

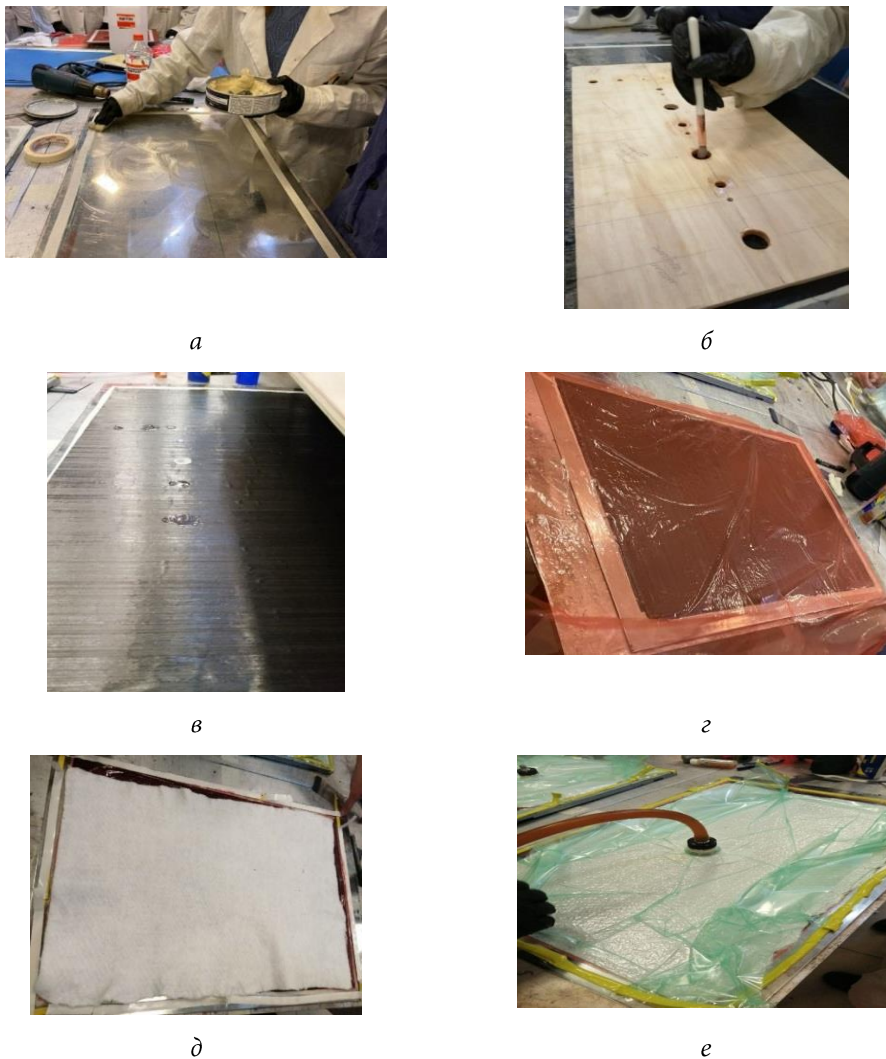


Рис. 2. Некоторые этапы технологического процесса создания панели из КМ:
а — полировка поверхности оснастки; *б* — создание дефектов; *в* — дефекты; *г* — покрытие заготовки перфорированной пленкой; *д* — выкладка дренажа; *е* — герметизация формы

Данная панель необходима для более детального изучения результатов, полученных с помощью метода контроля акустической эмиссии (АЭ) углепластиковой панели на наличие дефекта расслоения в зависимости от размера дефекта, глубины залегания и его происхождения [9–12]. Также панель предназначена для изучения влияния дефекта расслоения (разупрочнения) на качество поверхности отверстий в результате сверления и на силу резания в процессе обработки. Эти задачи являются актуальными, поскольку существует необходимость в обеспечении надежности, качества структуры материала и обработки поверхности деталей аэрокосмической техники. Схематично план будущих направлений исследования представлен на рис. 3.



Рис. 3. Схема направлений исследования на углепластиковой панели:

ПК — персональный компьютер; 1-6 — зоны с внесенными дефектами

В заключение статьи сделаем некоторые выводы. Во-первых, проведение экспериментов позволило отработать методику создания дефектов в углепластиковых панелях, обеспечивая стабильность их размера, управление процессом залегания и др. Во-вторых, в работе намечены направления экспериментальных исследований на базе образца — панели из углепластика, проведение которых поможет решить задачу адаптации метода неразрушающего контроля на основе волн акустической эмиссии для такого перспективного композиционного материала, как углепластик.

Литература

- [1] Комков М.А., Бочкарев С.В., Галиновский А.Л. и др. Технология производства и диагностика качества композитных конструкций ракетно-космической техники. Старый Оскол, ТНТ, 2020.
- [2] Галиновский А.Л., Бочкарев С.В., Нелюб В.А. Технологии производства и диагностики композитных конструкций летательных аппаратов. Старый Оскол, ТНТ, 2019.
- [3] Ковалев С.П., Нелюб В.А., Шелофаст В.В. Многокритериальный анализ разрушения конструкций летательных аппаратов. *Известия высших учебных заведений. Авиационная техника*, 2015, № 4, с. 9–14.
- [4] Александров И.А., Малышева Г.В., Нелюб В.А. и др. Механизм разрушения микроуглепластиков на основе эпоксидных связующих. *Энциклопедия инженера-химика*, 2012, № 4, с. 24–30.

- [5] Нелюб В.А. Оценка адгезионного взаимодействия между углеродным волокном и эпоксидным связующим. *Клеи. Герметики. Технологии*, 2014, № 7, с. 20–22.
- [6] Абашин М.И., Барзов А.А., Галиновский А.Л. и др. Ультратруйная экспрессдиагностика материалов и изделий машиностроения. *Научно-технические ведомости СПбГПУ*, 2011, № 2, с. 141–147.
- [7] Галиновский А.Л., Папич А., Ерохин С.А. и др. Оценка возможности расширения потенциала метода ультратруйной диагностики композиционных материалов. *Все материалы. Энциклопедический справочник*, 2021, № 3, с. 34–40.
- [8] Литвинов В.Б., Токсанбаев М.С., Деев И.С. и др. Кинетика отверждения эпоксидных связующих и микроструктура полимерных матриц в углепластиках на их основе. *Материаловедение*, 2011, № 7, с. 49.
- [9] Bochkarev S.V., Tsaplin A.I., Galinovskii A.L. et al. Ultra-jet diagnosis of heat treated material microstructure. *Met. Sci. Heat Treat.*, 2017, vol. 59, no. 5-6, pp. 384–388. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11041-017-0160-7>
- [10] Тарасов В.А., Галиновский А.Л. Проблемы и перспективы развития гидротруйных технологий ракетно-космического машиностроения. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, № 3. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2013-3-636>
- [11] [11] Нелюб В.А., Александров И.А., Малышева Г.В. и др. Исследование параметров состояния поверхности углеродных волокон. *Энциклопедия инженера-химика*, 2013, № 5, с. 34–38.
- [12] Абашин М.И. Возможности экспресс-оценки информационно-диагностических параметров изделий ультратруйным методом. *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*, 2011, № 4-3, с. 128–133.

Цыпышева Сабина Николаевна — студентка кафедры «Ракетно-космическая техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Терновских Карина Андреевна — студентка кафедры «Технология ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Цзя Чжэньюань — аспирант кафедры «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Галиновский Андрей Леонидович, профессор, доктор педагогических наук, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технологии ракетно-космического машиностроения», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Цыпышева С.Н., Терновских К.А., Цзя Чжэньюань. Создание дефектной углепластиковой панели для отработки методов ее контроля и обработки резанием. *Политехнический молодежный журнал*, 2021, № 05(58). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-05-703>

CREATION OF A DEFECTIVE CFRP PANEL FOR TESTING METHODS OF ITS CONTROL AND CUTTING

S.N. Tsypysheva

tssn17p061@student.bmstu.ru

SPIN-code: 7134-7728

K.A. Ternovskikh

ternovskikhka@student.bmstu.ru

SPIN-code: 9481-1413

Jia Zhenyuan

yurajia@gmail.com

SPIN-code: 7263-7750

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The process of creating a defective composite panel by the method of contact molding is described in detail for developing the method of non-destructive testing and analyzing the results of drilling artificially weakened sections of a carbon fiber reinforced panel. In the process of manufacturing a carbon fiber panel, defects are embedded in its structure in accordance with the template, leading to a violation of adhesion in the "fiber-binder" structure and most effectively controlled by non-destructive testing methods. Further directions of the study of the panel-sample are indicated for a detailed study of the results obtained using the method of acoustic emission.

Keywords

Composite part defects, adhesion, delamination, contact molding, carbon prepreg, acoustic emission, non-destructive testing

Received 31.05.2021

© Bauman Moscow State Technical University, 2021

References

- [1] Komkov M.A., Bochkarev S.V., Galinovskiy A.L., et al. Tekhnologiya proizvodstva i diagnostika kachestva kompozitnykh konstruksiy raketno-kosmicheskoy tekhniki [Production and quality diagnostics technology for rocket-spacecraft composite constructions]. Staryy Oskol, TNT Publ., 2020 (in Russ.).
- [2] Galinovskiy A.L., Bochkarev S.V., Nelyub V.A. Tekhnologii proizvodstva i diagnostiki kompozitnykh konstruksiy letatel'nykh apparatov [Production and quality diagnostics technology for aircraft composite constructions]. Staryy Oskol, TNT Publ., 2019 (in Russ.).
- [3] Kovalev S.P., Nelyub V.A., Shelofast V.V. Multi-criteria analysis of aircraft structures fracture. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Aviatsionnaya tekhnika*, 2015, no. 4, pp. 9–14. (in Russ.). (Eng. version: *Russ. Aeronaut.*, 2015, vol. 58, no. 4, pp. 370–375. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068799815040029>)
- [4] Aleksandrov I.A., Malysheva G.V., Nelyub V.A., et al. Study of fracture surfaces of black-reinforced plastics made by melted and dissolved technologies. *Entsiklopediya inzhenera-khimika* [Encyclopaedia of Chemical Engineer], 2012, no. 4, pp. 24–30 (in Russ.).
- [5] Nelyub V.A. Estimate of adhesion interaction between carbon fiber and epoxy binding agent. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Adhesives. Sealants. Technologies], 2014, no. 7, pp. 20–22 (in Russ.).
- [6] Abashin M.I., Barzov A.A., Galinovskiy A.L., et al. Ultrajet express diagnostics for machine building materials and products. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU* [St. Petersburg Polytechnic University Journal of Engineering Science and Technology], 2011, no. 2, pp. 141–147 (in Russ.).

- [7] Galinovskiy A.L., Papich A., Erokhin S.A., et al. Possibility evaluation of potential extension of ultra-jet diagnosis method for composite materials. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik* [All Materials. Encyclopaedic Reference Manual], 2021, no. 3, pp. 34–40 (in Russ.).
- [8] Litvinov V.B., Toksanbaev M.S., Deev I.S., et al. Kinetics of curing the epoxy binders and microstructures of polymer particles in carbon reinforced plastics based on them. *Materialovedenie* [Material Science], 2011, no. 7, pp. 49 (in Russ.).
- [9] Bochkarev S.V., Tsaplin A.I., Galinovskii A.L. et al. Ultra-jet diagnosis of heat treated material microstructure. *Met. Sci. Heat Treat.*, 2017, vol. 59, no. 5-6, pp. 384–388. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11041-017-0160-7>
- [10] Tarasov V.A., Galinovskiy A.L. Problems and prospects of ultra-jet technology in rocket space engineering. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2013, no. 3. DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2013-3-636> (in Russ.).
- [11] Nelyub V.A., Aleksandrov I.A., Malysheva G.V., et al. Study of state parameters of carbon fiber surface. *Entsiklopediya inzhenera-khimika* [Encyclopaedia of Chemical Engineer], 2013, no. 5, pp. 34–38 (in Russ.).
- [12] Abashin M.I Possibilities of express-estimate of product information-diagnostic parameters by ultra-jet method. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii* [Fundamental and applied problems of engineering and technology], 2011, no. 4-3, pp. 128–133 (in Russ.).

Tsypysheva S.N. — Student, Department of Aerospace Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Ternovskikh K.A. — Student, Department of Aerospace Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Jia Zhenyuan — PhD Student, Department of Aerospace Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Galinovskiy A.L., Professor, Dr. Sc. (Pedag.), Dr. Sc. (Eng.), Head of Department of Aerospace Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Please cite this article in English as:

Tsypysheva S.N., Ternovskikh K.A., Jia Zhenyuan. Creation of a defective CFRP panel for testing methods of its control and cutting. *Politekhnicheskii molodezhnyy zhurnal* [Politechnical student journal], 2021, no. 05(58). <http://dx.doi.org/10.18698/2541-8009-2021-05-703.html> (in Russ.).