

## СЕКЦИЯ 2. СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НАНОМАТЕРИАЛЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ

---

УДК 678

### ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ И АГРЕГАТОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Ф. А. Насонов<sup>1,2</sup>, Б. Б. Морозов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Публичное акционерное общество  
«Объединенная авиастроительная корпорация» ОКБ Сухого,  
г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет),  
Российская Федерация

*Рассмотрен и проанализирован проблемный аспект определения прочности клеевых соединений деталей из композитов, включающий, в частности, высокую трудоемкость и низкую информативность некоторых стандартных методов, а также отсутствие полной эквивалентности этих показателей фактическим значениям в реальных деталях и агрегатах. Даны альтернативные способы оценки прочности клеевых соединений деталей из полимерных композиционных материалов.*

**Ключевые слова:** полимерный композиционный материал, клеевые соединения, прочность клеевых соединений.

### QUESTION OF STRENGTH DETERMINATION OF ADHESIVE JOINTS OF PARTS AND AGREGATES MADE OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS

F. A. Nasonov<sup>1,2</sup>, B. B. Morozov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Public Joint Stock Company "United Aircraft Corporation"  
Sukhoi Design Bureau, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Moscow aviation institute (national research university),  
Russian Federation

*The paper considers and analyzes the problematic aspect of determining the strength of adhesive joints of composite parts, in particular, the high labor intensity and low information content of some standard methods, as well as the lack of full equivalence of these indicators to the actual values in real parts and aggregates. Alternative methods of assessing the strength of adhesive joints of parts from PCM are considered.*

**Keywords:** polymer composite material, adhesive joint, strength of adhesive joints.

Один из способов снижения общей трудоемкости изготовления и стоимости изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) – повышение степени их интегральности, когда финишное изделие изготавливается за один цикл формования и представляет собой комбинацию предварительно сформированных элементов, имеющих различную конфигурацию, внутреннее строение либо функциональное на-

значение. Однако не всегда максимальное интегрирование компонентов в единую деталь экономически оправдано, так как обратными сторонами этого являются усложнение технологической оснастки, усложнение процессов формования, а также повышение риска выбраковки сложного изделия из-за дефектов в его составных частях, которые не могут быть выявлены на более ранних стадиях вследствие их совместного формования.

В этой связи актуальными остаются вопросы соединения композиционных изделий. Детали из ПКМ могут соединяться с помощью клеевых, резьбовых соединений, с помощью механического крепежа, а также применяются комбинированные способы соединений. Целью данной работы является определение возможных методов измерения прочности клеевых соединений композитов с учетом прочности, получаемой в реальных изделиях при изготовлении.

Широкому применению клеевых соединений в ответственных изделиях препятствует сложность контроля их качества. Существующие способы неразрушающего контроля (например, акустические, тепловые, радиационные) позволяют качественно оценить зону склейки деталей. Количественная оценка прочности склейки может быть получена только разрушающими методами.

Одним из способов оценки качества является определение прочности клеевого соединения при сдвиге, например, по стандартам ГОСТ 14759–69, ГОСТ Р 57834–2017. К достоинствам рассмотренного метода можно отнести его относительную простоту. Метод достаточно давно используется в лабораториях и на производственных предприятиях, не требует сложного специфического оборудования либо приспособлений. С помощью рассматриваемого метода возможно проведение оценки прочности клеевого соединения разнородных материалов (рис. 1).

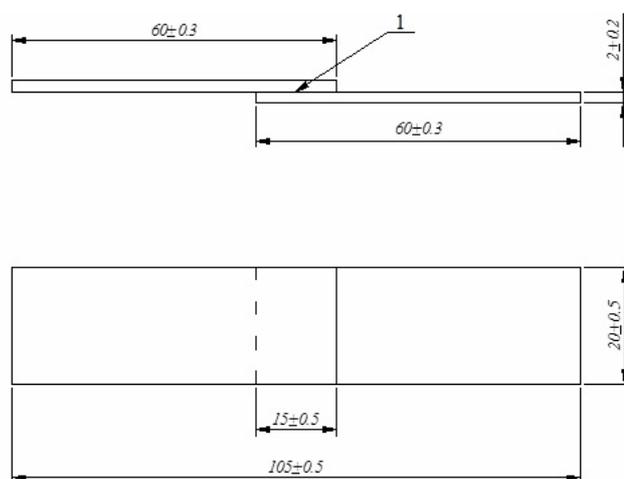


Рис. 1. Схема стандартного образца:  
1 – клеевой слой

Однако упомянутый выше метод не лишен недостатков. Как показано в [1], при нагружении нахлесточного соединения, особенно при недостаточной жесткости пластин, возникает явление искажения результатов из-за высокого уровня изгибающих и отслаивающих усилий. Для исключения влияния отрывающих напряжений изменяют конфигурацию образцов. Используют образцы с двунахлесточным соединением (рис. 2). Действительно, клеевое соединение в таких образцах нагружено более

равномерно. Однако образцы существенно более трудоемки в изготовлении и также не лишены основного недостатка применительно к образцам-свидетелям – не полностью повторяют особенности контролируемого изделия.

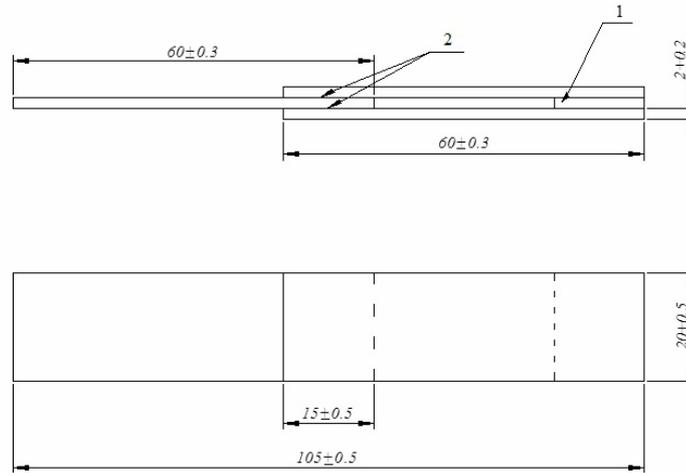


Рис. 2. Схема образца двойной нахлесткой:  
1 – прокладка; 2 – клеевой слой

В связи с тем, что при производстве изделий из ПКМ наиболее часто встречаются соединения однородных материалов, предлагается проводить оценку сдвиговой прочности клеевых соединений также с помощью испытаний на трехточечный изгиб короткой балки (ОСТ 1 90199–75). Предлагаются следующие способы изготовления и испытания образцов-свидетелей:

1. Одновременно с деталями, в последующем подлежащими склейке, из тех же материалов и по тому же технологическому процессу изготавливаются плоские пластины толщиной 3 мм.

2. Одновременно с поверхностями деталей, предназначенных под склейку, и по одному и тому же технологическому процессу производится подготовка поверхности пластин.

3. Одновременно со склеиваемыми деталями по одному и тому же режиму склейки производится склеивание пластин.

4. Из пластин производится вырезка и испытание образцов для определения прочности при межслоевом сдвиге путем испытаний на изгиб.

Разрушение образцов должно происходить от сдвиговых напряжений, достигающих максимума на середине сечения образца, т. е. по клеевому шву. Необходимо подчеркнуть, что условия склейки образцов-свидетелей при предлагаемом методе определения прочности клеевого шва абсолютно идентичны реализуемым на склеиваемом изделии – полностью повторяются способ подготовки поверхности, способ приложения давления и температуры (при необходимости), длительность выдержки, а также учитывается масштабный фактор. В случае соединения деталей, идентичных по толщине, образцы-свидетели могут вырезаться из технологического припуска изделия, что способствует повышению достоверности результатов испытаний. Предлагаемый способ испытаний клеевого соединения может быть полезен при выполнении экспериментальных работ. С его помощью достаточно просто реализовать исследование зависимости сдвиговой прочности клеевого соединения от толщины

клеевого шва [2]. Это особенно актуально для оценки свойств зазорозаполняющих клеевых композиций, широко применяемых при сборке изделий авиационной техники. В настоящее время в ОКБ Сухого проводится экспериментальная работа по оценке влияния толщины клеевого шва, выполненного с использованием зазорозаполняющего клея [3], на прочность соединения эпоксипластиков. Некоторые результаты представлены в таблице.

**Зависимость результатов предела прочности при сдвиге методом изгиба от толщины клеевой прослойки**

Толщина клеевого шва, мм	Предел прочности при сдвиге, МПа
0,2	9,2
1,0	5,4
1,3	6,1

Необходимо обратить внимание на адгезионный характер разрушения образцов, по которым представлены результаты испытаний. Таким образом, имеется резерв по повышению прочности клеевых соединений за счет организации когезионного механизма разрушения (улучшение сочетаемости компонентов, подготовка поверхности и др.).

Л и т е р а т у р а

1. Выбор конструктивно-технологических параметров при ремонте авиационных конструкций из полимерных композиционных материалов / Ф. А. Насонов, Б. Б. Морозов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2014. – № 12. – С. 11–16.
2. Influence of adhesive bond line thickness on joint strength of composite aircraft structures / V. Kostin, F. Nasonov, A. Zinin // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – N 19. – P. 012070. DOI 10.1088/1742-6596/1925/1/012070
3. Mode of access: <https://itecma.ru/products/klei-i-kleevye-plenki/temperatura-ekspluatatsii-do-180-s/50/>. – Date of access: 27.08.2022.

УДК 621.891:620.22

**ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ДИСПЕРСНОЙ МИКРОРАЗМЕРНОЙ МЕДНОЙ МАТРИЦЫ И НАНОРАЗМЕРНОГО УГЛЕРОДНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ**

**В. Н. Пасовец, В. А. Ковтун**

*Государственное учреждение образования  
«Университет гражданской защиты*

*Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,  
г. Минск*

*Разработана теоретическая модель формирования структуры порошковых композиционных материалов на основе дисперсной микроразмерной медной матрицы и наноразмерного углеродного наполнителя, основанная на рассмотрении протекающих физических процессов структурообразования на технологических стадиях активирования, уплотнения, упругого и пластического деформирования, спекания. Модель учитывает форму, размеры и свойства исходных дисперсных компонентов различного структурного уровня и позволяет прогнозировать прочностные и теплофизические характеристики композитов, получаемых с использованием методов механоактивации, прессования и электродного спекания.*