

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ МЕТАЛЛ-КОМПОЗИТ, РАБОТАЮЩИХ НА ОТРЫВ

В последние десятилетия скорость жизни человечества неуклонно ускоряется, растут темпы производства разных отраслей промышленности. Но такое ускорение вызывает все большее стремление к упрощению, люди создают более простые вещи, элементы, детали для их быстрого механизированного и автоматизированного производства. Параллельно с темпами производства растут требования к функциональности этих простых промышленных объектов, объемы которых значительно возросли, а соответственно вырос спрос на их соединения.

Аэрокосмическая промышленность всегда отличалась сложностью, точностью и большим количеством сборочных единиц и, естественно, большим количеством функциональных, эксплуатационных и технологических стыков и соединений, которые подвержены разнообразным нагрузкам.

В целях снижения веса авиационных конструкций стремятся повысить эффективность используемых материалов и существующих технологий. Композиционные материалы (КМ) и детали на их основе в аэрокосмической отрасли получили широкое распространение в последние годы из-за своих уникальных свойств, таких, как низкая плотность, высокая прочность, коррозионная стойкость, низкая теплопроводность, высокая интегрированность и т.д. Увеличить эффективность и общий объем КМ в авиационных конструкциях не всегда возможно из-за дороговизны этих материалов, а также ряд проблем, связанных с трудностями соединения деталей из КМ между собой, а также металлическими элементами конструкции [1]. Все преимущества и недостатки КМ объясняются их анизотропной структурой, существенным различием свойств в разных направлениях, несовершенством методик проектирования композитных агрегатов. Расчета физико-механических характеристик материала вызывает также определенными трудностями.

Благодаря своей полимерной структуре КМ хорошо склеиваются или свариваются, как в случае использования термопластичной матрицы. Клей и полимерная матрица любой природы являются очень хрупкими материалами, имеющими невысокие прочностные характеристики и плохо воспринимающими касательные напряжения. Критической физико-механической характеристикой как клееного, так и сварного соединения является модуль сдвига (G_{xy}). Согласно экспериментальным данным предельная нагрузка в адгезионных соединениях составляет около 1,5 кН/мм, что недостаточно для передачи усилий в авиационных конст-

рукциях. Поэтому применяют к механический вид соединений. Отверстие под механический крепеж всегда считалось концентратором напряжения для конструкции из любого материала, так как это источник трещин и дефектов, которые снижают несущую способность конструкции в целом. Для волокнистых пластиков эта проблема особенно острая, ведь в конструкции из КМ основным несущим элементом является волокно. При разрушении волокна и просверливании отверстия под механический крепеж в деталях из КМ несущая способность конструкции резко падает. При механическом соединении деталей из КМ прочность снижается в 2 – 4 раза по сравнению с аналогичным соединением металлических деталей. Это приводит к значительному увеличению массы конструкции, так как необходимо увеличивать толщину деталей, входящих в соединение, что снижает эффективность использования КМ или вызывает необходимость применения специальных конструктивно-технологических решений (КТР), учитывающих особенности композитов.

Фрагментарное фольгирование (рис. 1, а), приклеивание шайб с двух сторон под механический крепеж (рис.1, г, д), вклеивание втулок разных конфигураций (рис. 1, б, в), технологическое образование отверстий (путем раздвигания волокон и дисперсного упрочнения смолы в целях повышения объемного содержания волокна) – все это повышает предельные нагрузки, передаваемые соединениями [1].

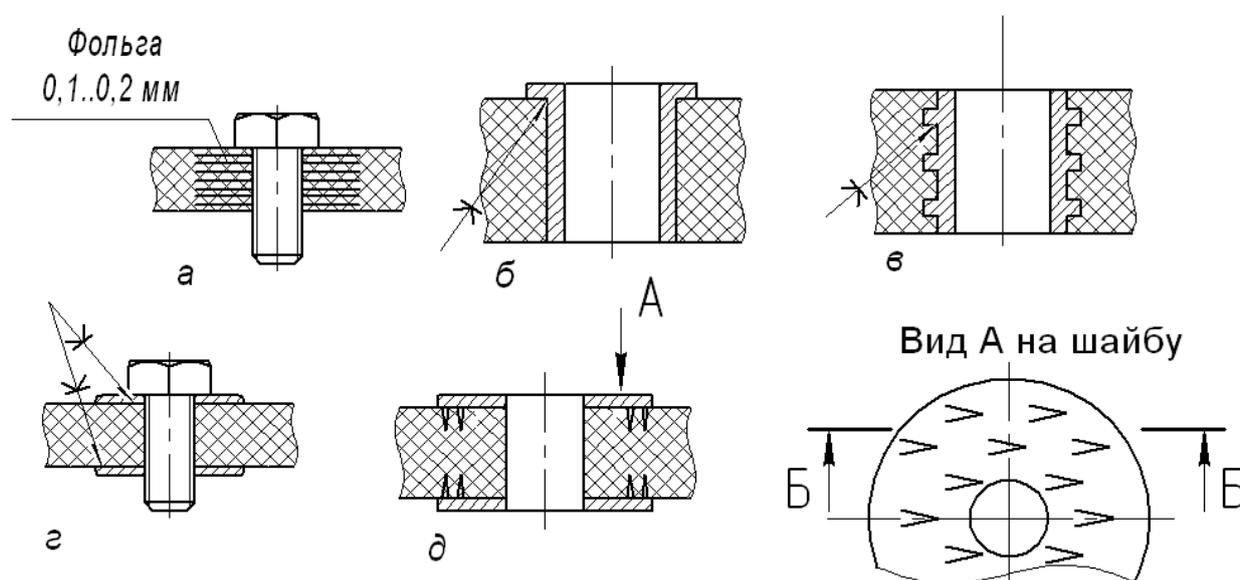


Рисунок 1 – Некоторые КТР, повышающие несущую способность КМ в зоне отверстия

Проблемы соединения деталей из КМ между собой или металлическими элементами конструкции решают за счет применения интегрированного формообразования узлов и стыков в композитных деталях. Хорошо себя зарекомендовали и достаточно активно используются со-

единения на крепежных микроэлементах. К примеру, для передачи продольных усилий в зонах стыков деталей применяют объемные КТР с продольными и трансверсальными связями [1].

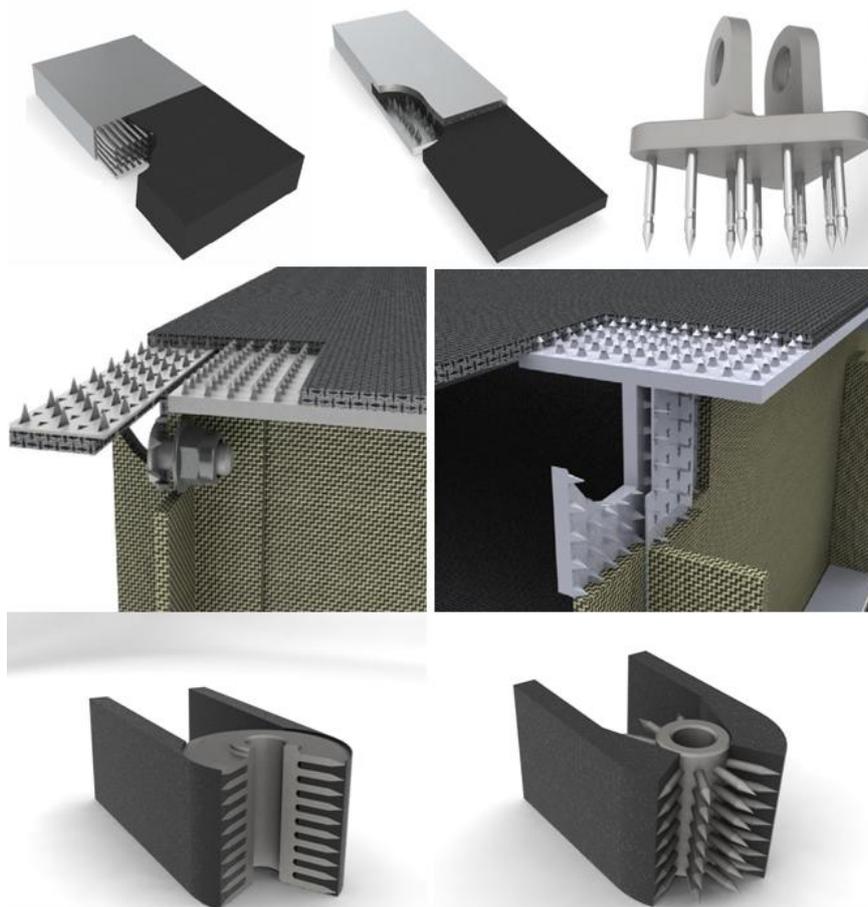


Рисунок 2 – Применение объемных КТР соединений

Особое место среди соединений занимают соединения, работающие на отрыв. Такие соединения распространены практически во всех областях конструирования. Для металлических конструкций характерна высокая прочность на смятие, равномерный и неравномерный отрыв компенсируется за счет пропорционального увеличения толщины. В конструкциях из КМ соединения, работающие на отрыв, трудно реализуемы, так как происходит вырыв части материала с крепежными элементами. При конструировании деревянных строительных элементов возникает подобная проблема, так как дерево, как природный КМ также имеет незначительную прочность. Поэтому для повышения прочности таких соединений в деревянных конструкциях наибольшее распространение получили шайбы шпоночного вида и металлические зубчатые пластинки (рис. 3 а – г), которые устанавливаются в деревянные конструкции ударным способом и фиксируются за счет распирающих усилий [2].

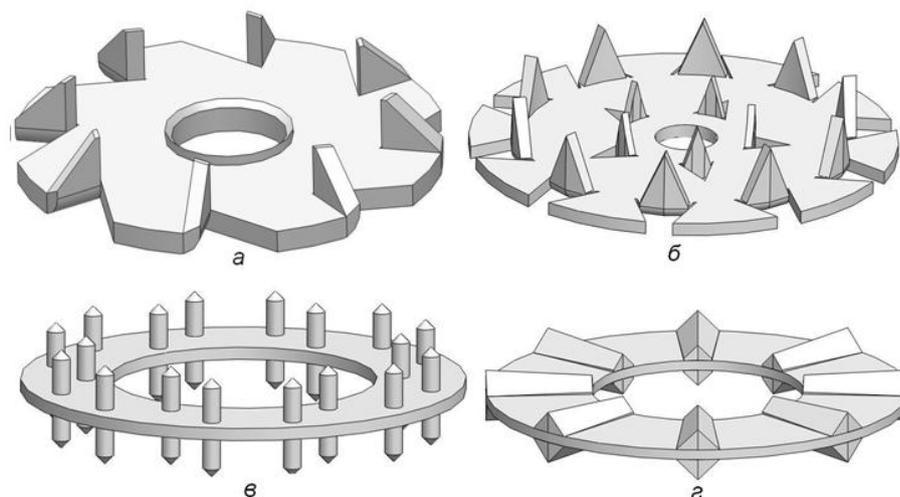


Рисунок 3 – Шайбы шпоночного вида:
 а – односторонняя зубчатая шпонка системы «Бульдог»; б – когтевая Леннова; в – двусторонняя шпонка системы «Гека»; г – когтевая система «Фрис и Нильсон»

Недостатками таких соединений являются большая вероятность возникновения трещин и снижение несущей способности данного соединения из-за неравномерной запрессовки шпонок и пластинок [2]. Использование таких шпонок в композитных деталях возможно при условии создания аналогичных распирающих усилий. Примерами соединений, работающих на отрыв, в авиационной промышленности могут быть разнообразные грузовые скобы, крюки, бугеля, многие элементы конструкции крыла и фюзеляжа, элементы фиксации топливных, масляных, электрических, воздушных и других систем самолета (рис. 4).



Рисунок 4 – Бугель крепления ракеты на крыло самолета

Узлы подвески летательных аппаратов отличаются от других узлов крепления тем, что в момент нагружения преимущественно действуют отрывные силы, которые необходимо учитывать при разработке КТР.

Как правило, клеевое соединение в этом случае будет малоэффективным из-за неравномерного отрыва, обусловленного податливостью как деталей из КМ, так и металлических узлов.

Выполнить такие условия нагружения можно, применив интегрированные соединительные элементы, похожие на зубчатые металлические пластинки, применяемые в деревянном строительстве. Соединительные металлические элементы будут способствовать трансверсальному армированию композита, что приведет к повышению его межслоевой прочности и увеличению площади смятия.

При этом следует отметить, что эффективность таких интегрированных соединений может быть снижена из-за возникающих технологических напряжений, которые проявляются в процессе отверждения полимерной матрицы композитной детали и клеевого подслоя на металлическом узле конструкции. Технологические напряжения и деформации могут привести как к отслаиванию металлического крепежного элемента от композита в процессе формования узла, так созданию распирающих усилий, определяющих прочность соединения на отрыв. С увеличением степени отверждения изменяются упругие характеристики материала, происходят усадочные и релаксационные процессы [3]. Моделирование процесса отверждения полимерного композита с учетом металлической интегрированной детали и нанесенного подслоя приведет к выбору рациональных параметров деталей, входящих в соединение, при соответствующем режиме отверждения.

Для повышения прочности на отрыв предлагается использовать соединительные крепежные микроэлементы, которые отличаются от используемых (рис. 3 и 5, а) тем, что имеют форму гарпуна (рис. 5, б) или скручены на 90° в виде штопора (рис. 5, в, г). Такая форма препятствует выдергиванию микроэлемента из отформованного пакета КМ.

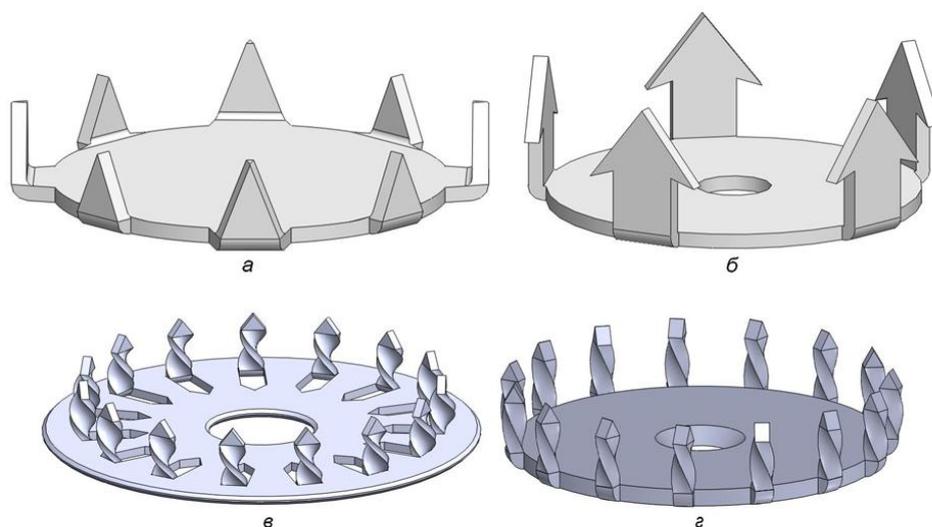


Рисунок 5 – Виды соединительных крепежных элементов

Крепежные элементы типа гарпун и штопор могут образовываться точением-фрезерованием непосредственно на промежуточном специальном винте или гайке (рис. 6, а, б), штамповкой-вырубкой с последующей гибкой листового металла (рис. 6, в, г) или сваркой выштампованных крепежных микроэлементов и соединительной пластины (рис. 6, д) [5].

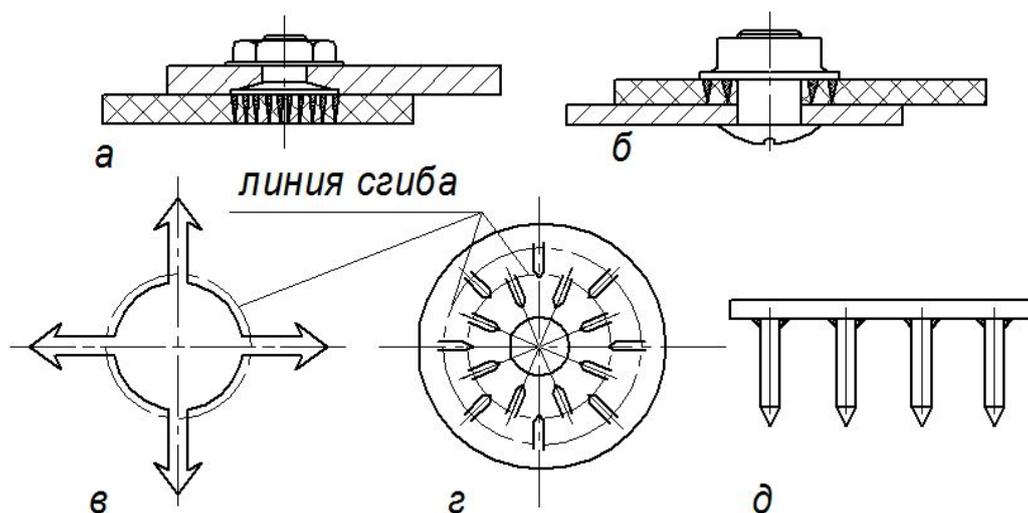


Рисунок 6 – Технологическая реализация крепежных соединительных микроэлементов

В железобетонных конструкциях, иногда применяют анкеры с изменяющимся поперечным сечением по его длине. Локальные утолщения с определенным шагом увеличивают сцепление анкера с заливочным материалом и препятствуют его преждевременному выдергиванию [4]. Анкеровку бетонных конструкций часто внедряют на несколько метров, чтобы обеспечить необходимую фиксацию анкеров. Толщина авиационных композитных конструкций может достигать нескольких миллиметров, при этом следует создать крепежные элементы, которые обеспечат большие запорные усилия.

Если длина крепежного элемента будет больше толщины композитной детали, то при формовании в условиях недостаточной жесткости крепежного элемента и определенного избыточного давления, микроэлементы могут потерять устойчивость, в результате они примут стандартные формы потери устойчивости (полуволны) и частично загнутся, четко зафиксировавшись в пакете КМ, что повысит прочность такого соединения (рис. 7).

Размеры и количество крепежных микроэлементов для соединений, работающих на отрыв, выбираются с учетом действующих нагрузок, габаритов, толщины соединяемых деталей и режима формования. В настоящее время отсутствуют методики проектирования таких соединений.

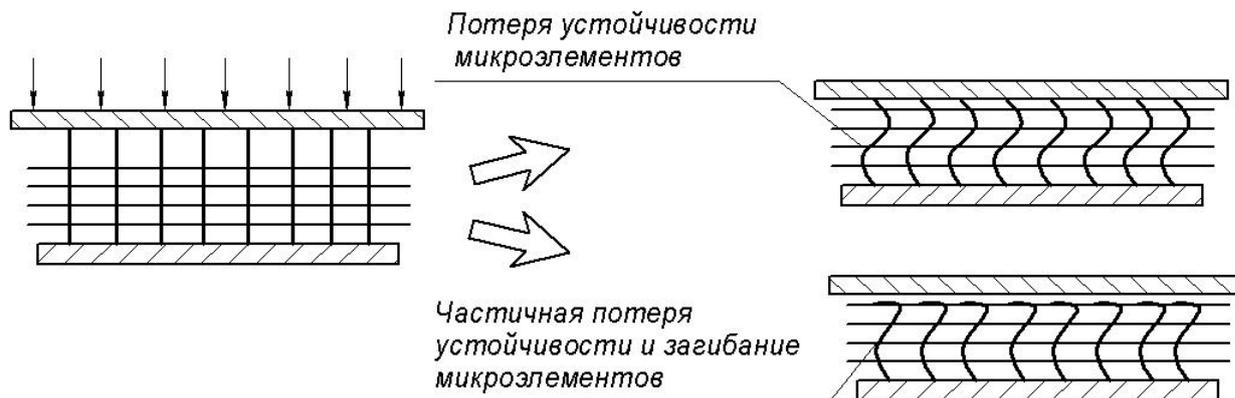


Рисунок 7 – КТР соединений с длинными микроэлементами

Необходимо разработать методику с учетом моделирования условий работы соединений, их изготовления; провести ряд испытаний для определения влияния на прочность композита закладных металлических элементов.

Список используемых источников

1. Карпов, Я.С. Соединение деталей и агрегатов из композиционных материалов [Текст] / Я.С. Карпов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2006. – 359 с.
2. Слицкоухов, Ю.В. Конструкции из дерева и пластмасс [Текст] / Ю.В. Слицкоухов, В.Д. Буданов. – М.: Стройиздат, 1986. – 545 с.
3. Гайдачук, А.В. Математическое моделирование процесса отверждения композитной ремонтной наклейки [Текст] / А.В. Гайдачук, Л.В. Смозюк, М.А. Шевцова // Авиационно-космическая техника и технология. – 2008. – № 6. – С. 11 –16.
4. ГОСТ 19804-91. Сваи железобетонные. Технические условия. – Взамен ГОСТ 19804.0-78; введен в действие с 28.11.91. – М.: Государственный стандарт СССР, 1991. – 22 с.
5. Карпов, Я.С. Проектирование деталей и агрегатов из композитов: [Текст]: учебник / Я.С. Карпов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2010. – 768 с.

Поступила в редакцию 22.02.2013.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. Я.С. Карпов,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*