



# Анализ типов дефектов в клеевых соединениях авиационной техники и их ремонт

В.В. Куликов

А.П. Петрова

*доктор технических наук*

Декабрь 2010

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более, чем в 30-ти научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в 4-х филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках Международных салонов в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат Государственных премий СССР и РФ, академик РАН Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Клеи. Герметики. Технологии», №5, 2011 г.

Электронная версия доступна по адресу: [www.viam.ru/public](http://www.viam.ru/public)

## **Анализ типов дефектов в клеевых соединениях авиационной техники и их ремонт**

В.В. Куликов, А.П. Петрова

*Всероссийский институт авиационных материалов*

*Указаны причины возникновения дефектов клеевых соединений в летательных аппаратах. Приведены клеевые материалы, и дано описание технологий их использования для ремонта эксплуатирующихся авиационных конструкций как в условиях производственных помещений авиабаз, так и в полевых условиях стоянки.*

**Ключевые слова:** эпоксидные клеи, пленочные клеи «Сокол», клеевые препреги, СИАЛ.

Важнейшим направлением при создании клеевых технологий в последнее время являются ремонтные технологии. Это связано с тем, что традиционные способы ремонта восстановления изношенных узлов и механизмов в промышленности требуют больших финансовых и трудовых затрат. Замена деталей на новые не всегда экономически выгодна.

Применение клеевых материалов позволяет не только снизить себестоимость ремонтных работ в 3–10 раз (в том числе и за счет исключения дорогостоящего демонтажа), но и расширить их номенклатуру, восстанавливая детали и узлы, не поддающиеся ремонту традиционными способами (сваркой, наплавкой, напылением и т.п.).

Ведущие отечественные и зарубежные авиационные фирмы активно ведут исследования в области создания новых технологических процессов ремонта авиационных конструкций, позволяющих восстанавливать первоначальную прочность конструкции, т.е. отремонтированный участок должен отработать тот же ресурс, который определен для всей конструкции.

В настоящее время из-за отсутствия специализированного оборудования, позволяющего создать в зоне ремонтируемого участка требуемые температуру и давление, используют в основном жидкие и пастообразные эпоксидные клеи холодного отверждения, такие как ВК-9, ВК-27, К-153, ВК-67. В отдельных случаях при использовании этих клеев применяют подслои из эластичного клея ВК-25. Наиболее перспективным из этих материалов является клей ВК-67, позволяющий получать высокие прочностные характеристики клеевых соединений при проведении ремонта в условиях повышенной влажности и низкой температуры (12°C). При проведении ремонта сотовых конструкций из неметаллических материалов (например, состоящих из сот на основе полимерной бумаги и обшивок из полимерного композиционного материала) он обеспечивает высокую прочность клеевых соединений с разрушением по сотовому заполнителю даже в случае содержания влаги в склеиваемых материалах до 30% (мас.). Это свойство клея является очень важным, поскольку при эксплуатации сотовых конструкций в них попадает влага из окружающей среды и все остальные клеи перед проведением ремонта требуют полного удаления влаги из ремонтируемого агрегата. Однако процессы обнаружения и удаления влаги из сотовых агрегатов весьма трудоемки, требуют использования специального оборудования и не гарантируют 100-процентного удаления влаги, поскольку поднимать температуру выше рабочей температуры агрегата (как правило, это 80°C) недопустимо.

Ресурс работы участков, отремонтированных с применением пастообразных клеев холодного отверждения, ограничен. Использование высокопрочных пленочных клеев и клеевых препрегов для ремонта сотовых конструкций позволяет существенно повысить эффективность ремонтных технологий. Клеи холодного отверждения (жидкие и пастообразные) используют для заполнения пустот в агрегатах при небольших механических повреждениях, а также для заполнения небольших объемов в сотовом заполнителе при ремонте отслоений обшивки – соты. Вспенивающиеся клеи

эффективно используют для вклеивания вставок сотового заполнителя при ремонте сотовых конструкций. Пленочные клеи рекомендуют для приклеивания компенсирующих затрат к конструкциям из алюминиевых сплавов и композиционных материалов.

Наиболее перспективными материалами для ремонта клеевых агрегатов, в том числе сотовой конструкции, являются клеевые препреги. Отремонтированные с использованием клеевых препрегов конструкции из ПКМ приближаются по свойствам к изделиям в исходном состоянии и имеют высокие надежность и ресурс работы [1].

Характерные особенности технологии ремонта с применением клеевых препрегов состоят в следующем:

- преимущественная выкладка композитной заплата из слоев препрега в специальном коническом углублении, образуемом в обшивке;
- использование для формования заплат исключительно вакуумного давления (вакуумных мешков, изготовленных из специальной пленки и герможгута) на поверхности агрегата в ремонтной зоне;
- использование для ремонта в эксплуатирующих организациях пастообразных, пленочных клеев и препрегов, отверждающихся при 20–170°C.

Для проведения ремонта сотовых конструкций приклеиванием (формованием) заплат разработаны технология (ТР 1.4.1831–98 «Ремонт сотовых клеевых конструкций из алюминиевых сплавов и полимерных композиционных материалов в условиях авиаремонтных предприятий и эксплуатирующих организаций») и комплект оснастки, обеспечивающий избыточное давление до 0,1–0,15 МПа и температуру до 180°C при работе в условиях как производственных помещений авиабаз, так и стоянки непосредственно на самолете, в том числе при низких температурах окружающей среды. Технология и оснастка могут использоваться при ремонте любых типов самолетов. Технология ремонта разработана в расчете на технических работников, не имеющих специальной подготовки, и включает в себя описание большинства

ремонтных операций для сотовых клееных конструкций из КМ с использованием материалов, разработанных во ФГУП «ВИАМ».

При ремонте силовых обшивок изделий авиационной техники весьма эффективным является использование стопнеров из сложных металлоорганопластиков (алоров), применение которых предотвращает некоторые критические повреждения элементов планера (особенно вибронегруженных агрегатов). Эффективность таких способов ремонтов показана на примере самолета АН-124-100, где для ремонта верхних обшивок из алюминиевого сплава Д16-АТВ использован в качестве стопнеров алюмоорганопластик марки АЛОП Д 16/41. Отремонтированные таким способом агрегаты наработали 6000 л. ч без появления усталостных трещин, что в 10 раз превышает средний ресурс типовых панелей из алюминиевых сплавов. Это объясняется повышенными усталостными характеристиками металлоорганопластиков по сравнению с алюминиевыми сплавами, в частности со сплавом Д16ч-АТ. Помимо увеличения ресурса, благодаря использованию металлоорганопластика для ремонта верхних панелей и носка носовой части крыла самолета достигнуты следующие положительные результаты:

- снижение скорости роста усталостных трещин в 10–20 раз;
- отсутствие сквозных трещин и случаев «вырыва» кусков материала из обшивки;
- снижение массы конструкций на 15%;
- снижение количества деталей, входящих в конструкцию отсека, на 65%;
- снижение расходов на эксплуатацию и ремонт.

Также в качестве стопнеров могут быть использованы СИАЛы (аббревиатура от названия компонентов: стеклопластик и алюминий). По сравнению со слоистыми материалами первого поколения класса АЛОП, СИАЛы обладают преимуществом по прочности при растяжении и особенно при сжатии и смятии, а также отличаются более высоким сопротивлением влагопоглощению и меньшей стоимостью армирующих компонентов.

Для оперативного ремонта не силовых элементов летательных аппаратов в условиях промежуточных аэродромов в 1996 г. принято решение о разработке временных самоклеящихся стопнеров (ВСС). В качестве ВСС используют:

- фольгоплены – алюминиевая фольга с нанесенным на одну из ее поверхностей невысыхающим липким клеевым слоем;
- армирующие наполнители в виде препрегов КМ или тканей с нанесенными на них связующими, отверждающимися при комнатной и невысокой ( $60^{\circ}\text{C} - 1 \text{ ч}$ ) температурах. Применение ВСС позволяет обеспечить эксплуатационную надежность летательных аппаратов до очередного технического обслуживания (наработка до 300 л. ч).

Ремонтные технологии эффективно используют для ремонта лопастей вертолетов типа Ми-8, Ми-24. Основной силовой элемент лопасти – лонжерон, к которому крепят с помощью клея хвостовые отсеки, состоящие из обшивок, нервюр и сотового заполнителя, склеенных между собой. При эксплуатации вертолетов имеют место случаи повреждения хвостовых отсеков, и возникает необходимость их замены в условиях эксплуатации. Разработаны рекомендации по применению клея ВК-27А для проведения ремонта по замене поврежденных в эксплуатации хвостовых отсеков лопастей несущего винта вертолетов Ми в полевых условиях.

Увеличение объемов применения ПКМ в авиационной технике потребовало изучения возникающих дефектов в агрегатах из ПКМ и разработки технологий по их устранению. Основными типами дефектов являются: усталостные трещины и расслоения различного рода; повреждения, связанные с локальными ударами от столкновения с птицами в полете, камнями от взлетно-посадочной полосы при работе реверса двигателя, а также возникающие при ударе высокоэнергетическими индикаторами. Основным способом ремонта является приформовка нового слоя из препрегов путем вакуумного формования ПКМ на участке площадью  $500 \times 500$  мм. При большем размере дефектов технология ремонта предусматривает:

- удаление обшивки и сотового заполнителя из дефектного участка;
- нанесение клея ВК-27 на обшивку и приклеивание к ней новых заготовок сотового заполнителя с помощью вакуумной диафрагмы;
- восстановление толщины вырезанной части обшивки на сотах с помощью комбинации клеевого препрега марки КМКС 1.80.Т10.55, слоев из препрега на основе стеклоткани Т-10-80, расплава связующего ЭДТ-69н с обязательной подформовкой выложенного пакета;
- выкладка нового фрагмента обшивки из слоев препрега;
- вакуумное формование обшивки и склеивание ее с сотовым заполнителем путем использования специальных гибких нагревательных элементов, расположенных под вакуумным мешком в зоне формования.

Применение такой технологии позволило полностью восстановить эксплуатационную надежность створок в зонах ремонта на четырех самолетах АН-124-100.

Разработка ремонтных технологий остро поставила вопросы разработки специальных способов подготовки поверхностей под склеивание. Специфика проведения ремонтных работ в условиях эксплуатации, особенно в полевых условиях, обуславливает ряд особых требований, предъявляемых к материалам и технологиям, используемым при ремонте клееных конструкций. Одной из таких основных особенностей является необходимость выполнения вручную практически всех операций подготовки поверхности зоны ремонта агрегата. Наиболее распространенным конструктивно-технологическим решением, используемым в отечественной и зарубежной практике при ремонте сотовых конструкций, является приклеивание заплат с заменой (в случае необходимости) поврежденного сотового заполнителя. Комплект заплат, упакованный в полиэтиленовые пакеты с силикагелем с указанием даты изготовления, предназначен для использования изготовителем изделия.

Для подготовки поверхности обшивки разработаны способы местной химической обработки различными составами и местного анодного

оксидирования в электролите на основе фосфорной кислоты. Использование местной химической обработки позволяет значительно повысить коррозионную стойкость клеевых соединений.

Способ местного анодного оксидирования фосфорной кислотой позволил получить на поверхности алюминиевых сплавов анодно-оксидное покрытие, обеспечивающее высокую прочность клеевых соединений без погружения в электролит: исходное значение прочности при сдвиге соединения, выполненного клеем ВК-9, составляет более 20 МПа при 20°С.

По результатам проведенных исследований местное химическое оксидирование с использованием растворов паст в качестве способа подготовки поверхности алюминиевых сплавов введено в разработанную в ВИАМе технологическую рекомендацию ТР 1.2 1683–2000.

Важную проблему представляет собой ремонт дефектов клеевых соединений в тонкостенных оболочках, состоящих из разнородных материалов (металла и стеклопластика). Основной тип дефектов в таких соединениях – отслоение стеклопластиковой оболочки от металлического корпуса, что связано с различием коэффициентов линейного термического расширения склеенных материалов. Для ремонта дефектов рекомендован эпоксикаучуковый клеевой состав 51-2158-2, основой которого является каучук ПЭФ-3А. Ремонт производят следующим образом. В наружном покрытии в местах нарушения сплошности клеевого слоя с помощью ручной дрели просверливают, не задевая металлического корпуса, 2–3 отверстия (диаметром 4–5 мм). Отверстия должны быть максимально удалены друг от друга. Ремонтный состав шприцем закачивают в одно из приготовленных отверстий до появления клея в других просверленных отверстиях. Если этого не произошло, то состав дополнительно закачивают через другие приготовленные отверстия. С помощью молотка простукиванием проверяют заполнение дефектного участка, при этом не должно быть глухого звука. Закрывают отверстия пробками, изготовленными из стеклопластика. На посадочные места пробок предварительно наносят ремонтный состав.

Диаметр пробок должен быть равен диаметру сверла. Избыток состава с поверхности наружного покрытия удаляют салфеткой, смоченной в ацетоне и отжатой. Припиливают пробки заподлицо с поверхностью стеклопластика сборочной единицы. При ремонте отслоений наружного покрытия на торцах сборочных единиц ремонтный состав вводят в дефектный участок ножом или щупом. Применение клеевого состава 51-2158-2 в качестве ремонтного не ухудшает прочностных характеристик клеевых соединений как при отслаивании, так и при отрыве в интервале температур  $-50...+200^{\circ}\text{C}$  [2, 3].

Для ремонта дефектов (трещин, сколов) многослойных (триплексных) стекол используют олигоуретанметакрилатный клей «Скол» [4]. Он также применяется для склеивания и ремонта изделий из стекла. Низкая вязкость (10–14 МПа·с) позволяет проникать клею в самые незначительные трещины. Отверждение клея происходит в течение 5–15 мин.

### **Список литературы**

1. Петрова А.П., Лукина Н.Ф. // Клеи. Герметики. Технологии. 2007. № 8. С. 26–35.
2. Гейнрих Н.И., Мельников В.Н. // Клеи. Герметики. Технологии. 2007. № 3 С. 19–27.
3. Гейнрих Н.И., Мельников В.Н. // Клеи. Герметики. Технологии. 2007. № 4. С. 29–33.
4. Потапочкина И.И., Короткова Н.П., Логинова С.Е., Лебедев В.С. // Клеи. Герметики. Технологии. 2010. № 8. С. 8–12.