

УДК 678.026.2.678

## Отработка способов ремонтно-восстановительных работ слоистых сотовых конструкций из полимерных композиционных материалов повышенной теплостойкости

Земцова Елена Владимировна<sup>(\*)</sup>

elena\_zemcova@mail.ru

ПАО «РКК «Энергия», Королев, Московская обл., Россия

**Аннотация.** Представлены результаты экспериментальных исследований свойств клеевых ремонтных композиций (КРК), определенных на образцах и фрагментах слоистых сотовых конструкций (ССК) с несущими слоями (НС) из термостойкого углепластика на основе бисмалеимидного связующего. В результате исследований проведен сравнительный анализ свойств КРК холодного отверждения со свойствами клеевых композиций, применяемых при изготовлении ССК, эксплуатируемых при температуре до 200 °С, а также отработаны способы ремонта ССК и подтверждена работоспособность КРК холодного отверждения в предлагаемых конструктивно-технологических решениях выполнения ремонта.

**Ключевые слова:** клеевые ремонтные композиции (КРК), слоистые сотовые конструкции (ССК), несущий слой (НС), сотовый наполнитель (СЗ), полимерный композиционный материал (ПКМ), условия космического пространства (УКП)

**Введение.** При изготовлении ССК из ПКМ пилотируемого транспортного корабля (ПТК): пятислойного сотового силового каркаса лобового теплозащитного экрана, трехслойных сотовых секций аэродинамической оболочки возвращаемого аппарата, эксплуатируемых в УКП при температуре до 200 °С иногда в процессе производства возникает необходимость их локального ремонта.

ССК состоят из двух или более НС между которыми расположен СЗ и соединенный с первыми в основном посредством склеивания [1].

Цели работы:

- определение механических характеристик клеевых соединений выполненных КРК холодного отверждения при склеивании ПКМ, входящих в состав ССК;
- проведение сравнительного анализа механических характеристик клеевых соединений выполненных КРК холодного отверждения с механическими характеристиками штатных клеевых соединений ССК;
- подтверждение работоспособности КРК холодного отверждения в предлагаемых конструктивно-технологических решениях выполнения ремонта ССК, эксплуатируемых в УКП при температуре до 200 °С.

**Материалы и методы; результаты.** С учетом анализа результатов, ранее проведенных экспериментальных исследований, механических характеристик клеевых соединений ПКМ между собой и с СЗ для экспериментальной отработки способов локального ремонта ССК были выбраны следующие КРК холодного отверждения:

- клей конструкционный марки ЦМК-КК [2], АО «Композит», г. Королёв;
- клей эпоксидный АТ-44К [3], АО «ИНУМиТ», г. Москва;
- шпатлевка Б-КБ [4].

Технологической особенностью изготовления ССК является то, что она изготавливается в несколько этапов. Обшивка и соты, а также клей проходят режим термообработки  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$  — 4 часа, а затем проходят режим постотверждения  $230\text{ }^{\circ}\text{C}$  — 6 часов.

Восстановлению подлежат конструкции, имеющие следующие типы повреждений:

- локальные сквозные и несквозные разрушения несущих слоев (НС) и других конструктивных элементов ССК;
- вмятины, углубления (деформации НС и сотовых заполнителей (СЗ));
- арапины (несквозные повреждения на поверхности НС);
- расслоения (нарушения целостности между слоями углепластиковых НС);
- непрочности (отсутствие клеевого соединения между НС и СЗ в локальных зонах ССК);
- отслоения, отрыв (нарушение клеевого соединения механическим способом).

Образцы клеевых соединений для испытаний на сдвиг [5] склеивали в специальном приспособлении — рычажный пресс по следующим режимам:

- для конструкционного клея ЦМК-КК: температура  $(20^{+5})\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение  $(48^{+4})$  ч под удельным давлением не менее  $0,5\text{ кгс/см}^2$ , полное отверждение не ранее 96 ч при нормальных условиях до механического воздействия;
- для клея АТ-44К:  $(20^{+5})\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 48 ч под удельным давлением не менее  $0,5\text{ кгс/см}^2$  и еще не менее 72 ч при нормальных условиях до механического воздействия;
- для шпатлевки Б-КБ: при температуре  $(20^{+5})\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 24 ч под удельным давлением не менее  $0,5\text{ кгс/см}^2$  и дополнительно не менее 72 ч при нормальных условиях до механического воздействия.

Далее на части образцов, не прошедших постотверждение в деталях, после формования углепластиковых пластин проводили постотверждение по режиму:

- нагрев до температуры  $(185\pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$  со скоростью не более  $3\text{ }^{\circ}\text{C/мин.}$ , выдержка в течение  $(30^{+5})$  мин.;
- нагрев до температуры  $(230\pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$  со скоростью не более  $0,2\text{ }^{\circ}\text{C/мин.}$ , выдержка в течение  $(360^{+10})$  мин.

**Заключение.** В результате проведенных экспериментальных исследований различных вариантов ремонтно-восстановительных работ ССК установлено, что проведение ремонта слоистых сотовых конструкций с несущими слоями из углепластика УПСБ250А допускается проводить на различных этапах изготовления конструкции. При использовании клеевой композиции ЦМК-КК рекомендуется выполнять ремонт после проведения режима по-

стотверждения ССК. В случае обнаружения дефектных зон на промежуточных этапах изготовления ССК (до проведения постотверждения) рекомендуется использовать клеевую композицию АТ 44-К. Использование шпатлевки Б-КБ допускается на любом этапе изготовления, при этом не рекомендуется ее применение при выполнении ремонтно-восстановительных работ методом шприцевания.

#### **Список источников**

- [1] Каблов В.Ф., Носенко В.А., Бондаренко С.Н. *Клеи и технология склеивания деталей в машиностроении*. Старый Оскол, ТНТ, 2017, 187 с.
- [2] ТУ 2252-646-5697835-2015. *Клеи конструкционные марок ЦМК-КК, ЦМК-18. Технические условия*.
- [3] ТУ 20.52.10-025-73047899-2021. *Клей эпоксидный АТ-44К. Технические условия*.
- [4] ОСТ 92-1155-75 *Шпатлевки термостойкие. Технические требования и типовой технологический процесс*.
- [5] ГОСТ Р 57066-2016. *Композиты полимерные. Метод определения прочности при сдвиге клеевого соединения внахлест*. Введен 2016–09–13. Москва Стандартинформ, 2019, 14 с.