

УДК 629.78.023

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ РАЗМЕРОСТАБИЛЬНЫХ СОТОВЫХ ПАНЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Ишенина Н.Н., Михнев М.М.

ОАО «Информационные спутниковые системы» им. ак. М.Ф. Решетнева, г. Железногорск, ЗАТО Железногорск, Красноярский край, Россия, e-mail: inn@iss-reshetnev.ru

Рассмотрены некоторые вопросы, особенности и обоснования технологии изготовления крупногабаритных клееных сотовых панелей с использованием термокамеры. Приведены основные результаты исследований температурных режимов полимеризации клеев, обеспечивающие качественные параметры клееных соединений элементов.

Ключевые слова: полимеризация, сотовые панели, термический анализ.

INVESTIGATION OF TECHNOLOGICAL MODES OF POLYMERIZATION OF LARGE DIMENSIONALLY STABLE HONEYCOMB PANELS USING THERMAL CHAMBER

Ishenina N.N., Mikhnev M.M.

Joint – Stock Company «Academician M.F. Reshetnev «Information Satellite Systems», Zheleznogorsk, Krasnoyarsky region, Russia, e-mail: inn@iss-reshetnev.ru

Some issues, features and validation of manufacturing technology of large adhesive – bonded honeycomb panels using thermal chamber are reviewed. The basic results of investigation of the temperature modes of adhesive polymerization, providing quality parameters of bonded joints of the elements are presented.

Key words: polymerization, honeycomb panels, thermal analysis.

Современные приборы полезной нагрузки космических аппаратов (КА) представляют собой отдельные функционально законченные блоки, имеющие соответствующую массу, что позволяет распределить общую массу по поверхности платформы, а не концентрировать ее на небольшой монтажной плоскости конструкции.

Для обеспечения равнопрочности и размеростабильности в целом всей несущей конструкции КА необходимо внедрение новой технологии проектирования и изготовления трехслойных композитных сотовых, в частности алюминиевых, несущих панелей для современных КА негерметичного исполнения. Структура клееной сотовой панели после полимеризации представлена на рисунке 1.

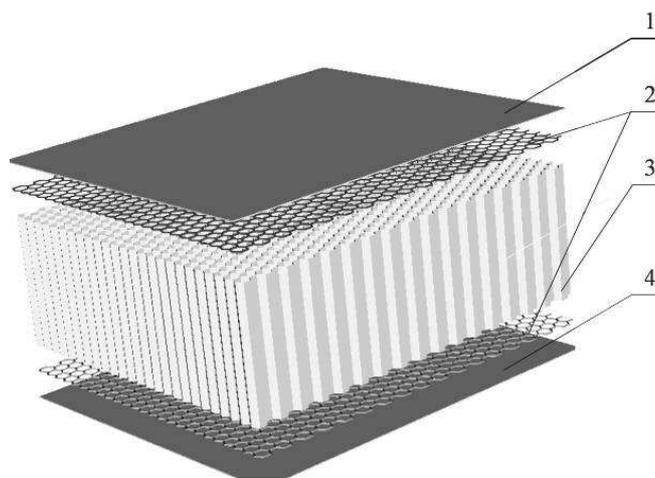


Рис. 1. Структура клееной сотовой панели:

1 – верхняя обшивка; 2 – полимеризованный клей; 3 – сотовый наполнитель; 4 – нижняя обшивка

Надежность эксплуатации таких сотовых панелей по целевому назначению, например для КА со сроком активного существования 10–15 лет, в условиях космического пространства (термоциклирование, глубокий вакуум, ионизирующее излучение и т.д.) во многом зависит от стойкости клеевых соединений элементов к внешним воздействиям.

Практика изготовления сотовых конструкций за рубежом показывает, что при их производстве ведущими мировыми производителями используется специализированное дорогостоящее оборудование – автоклав, при этом стоимость сотовой панели составляет порядка нескольких тысяч евро за 1 м². Применяя универсальное оборудование собственного производства, можно значительно снизить стоимость изготовления таких сотовых панелей [1].

Для изготовления сотовых панелей применяют различные клеи, в том числе пленочные, которые в отличие от жидких клеев обеспечивают более равномерное распределение клеевой композиции по всей склеиваемой поверхности, а также являются более технологичными с точки зрения нанесения на плоскую поверхность обшивки сотовой панели. Клеи на основе эпоксидной смолы (ВК-36РТ, ВК-51) обладают хорошей адгезией, отвердевают почти без усадки, хорошо заполняют зазоры при склеивании обшивок с сотовым наполнителем, образуют хорошие наплывы у стенок ячеек, что способствует повышению прочности [2; 5].

Согласно техническим условиям клей ВК-51 предназначен для конструкций, работающих в интервале температур от минус 60 до плюс 60 °С. Предел прочности при сдвиге клеевых соединений элементов из алюминиевого сплава, при температуре 20 °С – не менее 36 МПа.

При полимеризации крупногабаритных сотовых панелей с помощью термокамеры из-за больших ее размеров, а также массивности технологической оснастки появляется неоднородность температурного поля. Это приводит к тому, что начало полимеризации клея верхней и нижней обшивки, центральной части и периферии сотовой панели будут различными. Следовательно, степень полимеризации клея в этих местах может различаться. Совокупность технологических факторов приводит к снижению и неоднородности прочностных характеристик клеевого соединения в различных местах, а также деформации, отклонениям формы поверхности панели и появлению внутренних напряжений.

При склеивании обшивки с сотовым наполнителем с помощью клеевой пленки происходит локальное перетекание клея при достижении определенной температуры. У

стенок ячейки образуются локальные клеевые галтели. Образование этих галтелей объясняется поверхностным натяжением клея, после его перехода в жидкое состояние, и смещением (подъемом), основанным на явлении смачивания им обшивки и сотового заполнителя.

Для обеспечения качественного клеевого соединения необходимо определить и обеспечить оптимальные параметры технологического процесса, температуру давления, скорость изменения температуры, от которой зависит при расплаве клея вязкость, которая в свою очередь и влияет на силы поверхностного натяжения, а следовательно и на процесс образования клеевых галтелей, обеспечивающих прочность соединения [4].

Выполнив термический анализ процесса отверждения клея на основе эпоксидной смолы и получив данные о том, как долго длится отверждение и при каких условиях будет получено полное отверждение или заданный его уровень, можно обеспечить оптимальные параметры прочности соединения *обшивка – сотовый заполнитель*. Для исследования влияния технологических параметров полимеризации клеевого соединения *обшивка – сотовый заполнитель*, в частности температурного режима, выбраны методы термического анализа, метод дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрии. Этот метод широко используется для изучения процессов, происходящих с полимерами при нагревании, фазовых переходов полимеров.

Результаты представлены в виде DSC-кривых, а также масс-спектров образцов клея ВК-5, ВК-36РТ для всех условий измерения.

Исследование экзотермического процесса отверждения клея ВК-51 показали, что температура максимальной скорости этого процесса зависит от скорости нагрева и составляет: при 5 град./мин – 159,5 °С, при 2 град./мин – 147,5 °С, при 1 град./мин – 137,1 °С, при 0,5 град./мин – 127,1 °С (рис. 2).

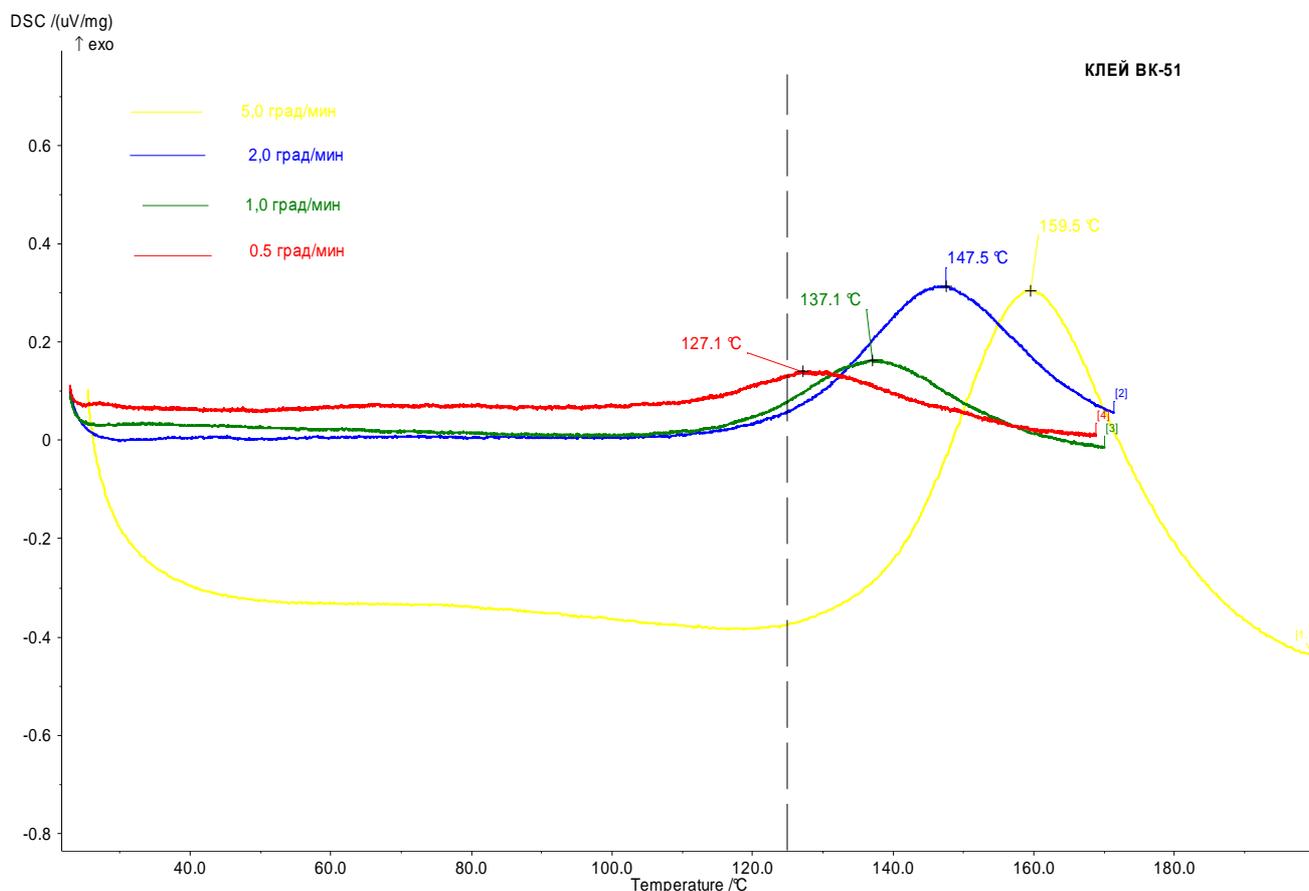


Рис. 2. График зависимости температуры полимеризации клея ВК-51 от скорости нагрева

Для клея ВК-36РТ были проведены аналогичные измерения.

При скоростях нагрева: 5, 2, 1, и 0,5 град./мин, до температуры 250–300 °С в инертной атмосфере. Результаты термоанализа приведены на рис. 5. Как видно из кривых DSC, температура максимальной скорости полимеризации клея ВК-36, так же как и ВК-51, зависит от скорости нагрева и составляет: при 5 град./мин – 193,8 °С, при 2 град./мин – 182,0 °С, при 1 град./мин – 173,7 °С, при 0,5 град./мин – 165,1 °С (рис. 3).

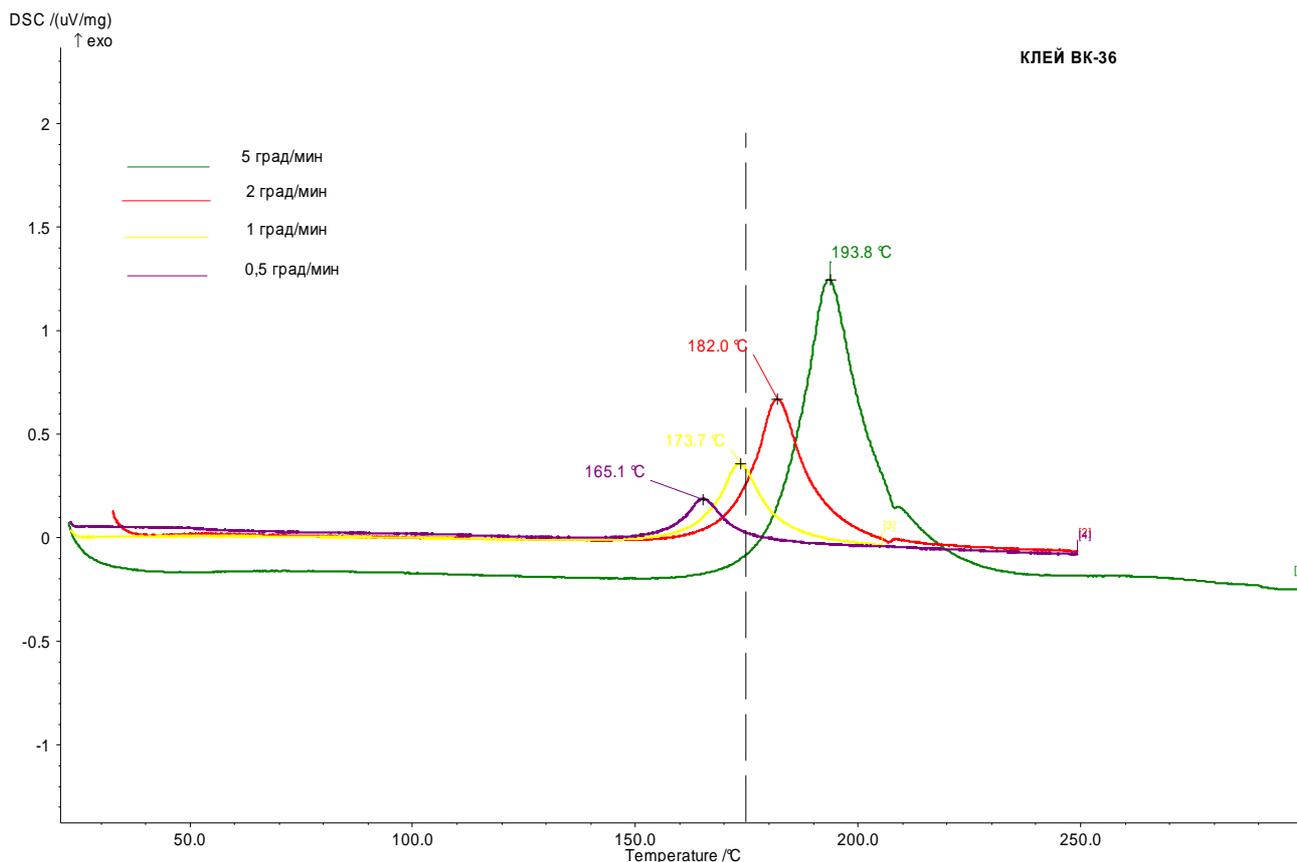


Рис. 3. График зависимости температуры полимеризации клея ВК-36РТ от скорости нагрева

На основании проведенных лабораторных исследований клеев методами DSK и TG определены параметры технологических режимов полимеризации крупногабаритных сотовых панелей, учитывающие особенности применяемого оборудования и технологической оснастки. Определена схема температурных режимов полимеризации для создания программного обеспечения для управления оборудованием, разработана система автоматизированного управления процессом полимеризации сотованели.

Система управления обеспечивает регулирование режима нагрева, выдержки и остывания по разработанному и программно заданному закону регулирования, управление всеми устройствами термокамеры (рис. 4), а также регистрацию и запись графиков температуры и вакуумметрического давления по установленным на технологической оснастке датчикам [7].



Рис. 4. Фото термокамеры для полимеризации сотовых панелей

Полученные графики изменения температуры полимеризации сотопанели после уточнения схемы регулирования температуры, представленные на рисунке 5, позволяют оперативно корректировать режимы и в целом влиять на параметры технологического процесса.

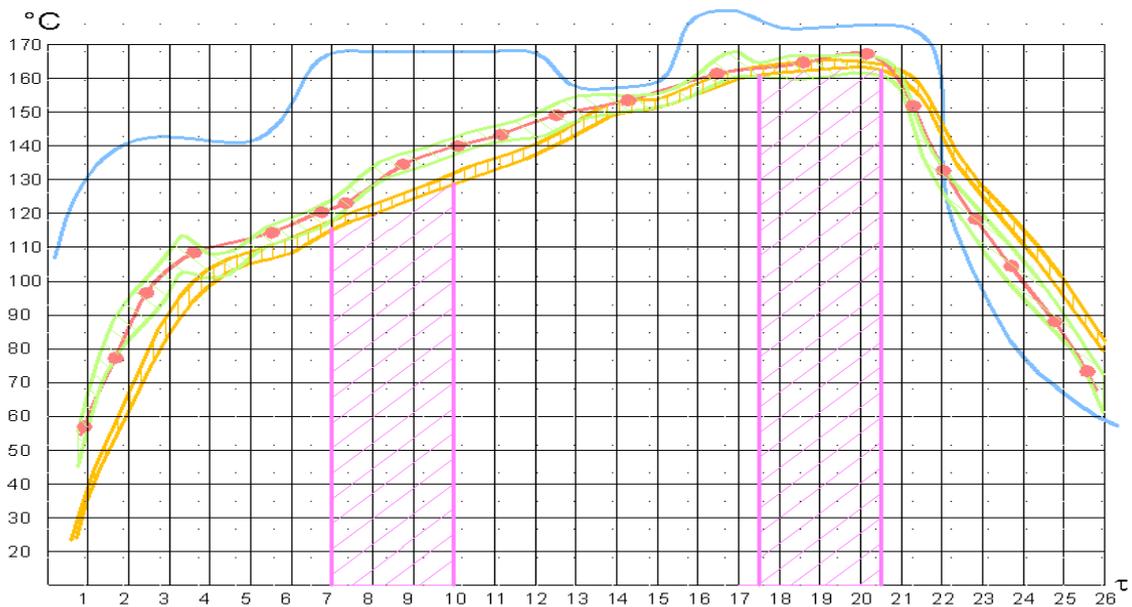


Рис. 5. График изменения температуры сотопанели в процессе полимеризации по уточненным режимам:

— воздух в термокамере; —●— центр нижней плиты приспособления; —■— нижняя обшивка сотопанели; —■— верхняя обшивка сотопанели

Результаты проведенного термического анализа клеев позволили определить зависимости степени полимеризации применяемых клеев ВК-36РТ и ВК-51 от скорости подъема температуры, на основании которых разработаны температурные режимы и определена

скорость нагревания воздуха в термокамере, обеспечивающая требуемую скорость нагревания клеевого шва *обшивки – сотовый наполнитель* (для клея ВК-51 – не более 0,5 град./ мин, для клея ВК-36РТ – не более 1 град./ мин) при изготовлении крупногабаритных сотовых панелей.

Усовершенствовано оборудование термокамеры в части обеспечения циркуляции воздушного потока внутри термокамеры с целью обеспечения равномерного прогрева клеевого шва в процессе полимеризации.

Регулирование температуры по разработанным режимам обеспечивает равномерный прогрев верхней и нижней плит оснастки в процессе полимеризации, что позволило повысить качество клеевого соединения, увеличить стабильность получения высоких прочностных характеристик клеевого соединения, а также улучшить геометрические параметры изготавливаемых крупногабаритных сотовых панелей. Отклонение от плоскостности не более 1,5 мм на размере 3000х6000 мм.

Список литературы

1. Ишенина Н.Н. Технологические особенности изготовления сотовых панелей с внутренними гидротрактами спутников связи / Н.Н. Ишенина [и др.]. // САКС-2001 : материалы международной научно-практической конференции. – Красноярск : САА. – Ч.Ш., 2001. – С. 99–100.
2. Михалев И.И. Технология склеивания металлов / И.И. Михалев, З.Н. Колобова, В.П. Батизат. – М. : Машиностроение, 1965. – 279 с.
3. Никипелов А.В., Михнев М.М., Ишенина Н.Н. Устройство для склеивания равнопрочной трехслойной панели с сотовым наполнителем : патент № 2388609 С1 ; 10.05.2010.
4. Рекомендации по обеспечению и контролю стабильности геометрических и механических характеристик сотовых панелей : отчет о НИР ОТ818-4912-01 / ФГУП НПО ПМ им. ак. М.Ф. Решетнева / рук. С.М. Роскин; отв. исполн. : В.В. Злотенко [и др.]. – Железногорск, 2001. – 62 с.
5. Фрейдин А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений. – М. : Химия, 1981. – 272 с., ил.
6. Хертель Г. Тонкостенные конструкции. – М. : Машиностроение, 1965. – 527 с., ил.
7. Цветков В.Д. Система автоматизации проектирования технологических. – М. : Машиностроение, 1972. – 240 с.

Рецензенты:

Крушенко Г.Г., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник Института вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск.

Двирный В.В., д.т.н., заместитель начальника отдела 140 ОАО «Информационные спутниковые системы» им. ак. М.Ф. Решетнева, профессор КГТУ, г. Красноярск.

Работа получена 30.09.2011