

ПРОБЛЕМА РАВНОМЕРНОГО ПРОГРЕВА КЛЕЕВЫХ ШВОВ ТРЕХСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СБОРКЕ-СКЛЕЙКЕ

© 2012 О.А. Логинов, Г.Л. Ривин

Институт авиационных технологий и управления
Ульяновского государственного технического университета

Поступила в редакцию 02.11.2012

В статье авторы проводят анализ технологического процесса склеивания трехслойных сотовых конструкций сложной формы в автоклаве и рассматривают возникающие проблемы в получении качественных клеевых швов из-за неравномерности нагрева верхней и нижней обшивок. Авторами предложен путь решения этой проблемы, заключающийся в расчете времени прогрева конструкций и определение температурных зон в автоклаве.

Ключевые слова: автоклав, сотовые конструкции, клеевой шов, температурные зоны, расчет времени прогрева, коэффициент теплопередачи.

При изготовлении трехслойных конструкций основной проблемой является проблема получения необходимого качества клеевых швов. Одной из причин этой проблемы, является различные условия теплопередач для верхних и нижних обшивок сложной конструкции, подкрепленных сотовым наполнителем. Так же различная скорость прогрева ведет к возникновению внутренних напряжений.

Ранее было исследовано, что при формообразовании композитов, возникающие напряжения появляются в изделии на стадии формообразования в результате воздействия на формируемое изделие различных факторов. И если временные напряжения уравниваются в системе формируемая конструкция-оснастка, то после завершения формообразования остаточные напряжения уравниваются в объеме материала изделия, что и приводит к его короблению [1].

Для отверждения клеевых швов нужны специальные условия – это или нагрев, или облучение ультрафиолетовыми лучами, или предотвращение доступа воздуха.

Чаще всего основой клея служат смолы горячего отверждения, для полимеризации которых нужен нагрев соединительного шва. В зависимости от типа клея температура отверждения колеблется от 80 до 220 °С.

Для лучшего сцепления клея с субстратом склеиваемые детали прижимают друг к другу с определенным усилием, то есть на склеиваемые поверхности должно действовать давление [2].

Несущая способность клеевых соединений в значительной степени зависит от прочности клеевого слоя и соединяемых элементов, конструктивных особенностей соединения [3].

Рассмотрим панель клиновидной формы при одновременной приклейке обшивок к сотам, расположенным между ними. При этом необходи-

мо обеспечить равные условия формирования галтелей при различных условиях прогрева клеевого шва по ширине сборочной единицы.

Задача расчета прогреваемости партии изделий, загруженных в автоклав, является сложной, поэтому требуется разбить её на несколько более простых подзадач, а именно:

расчет времени нагрева изделия; расчет потребляемой теплоты изделием; расчет времени нагрева оснастки; расчет потребляемой теплоты оснасткой; расчет температурных полей в автоклаве.

При рассмотрении первой задачи предлагается использовать расчетную модель конструкции с подводом теплоты только через технологический пакет, исключая подвод теплоты со стороны оснастки.

Для её решения необходимы следующие данные: габаритные размеры изделия и составляющих частей, параметры ячейки сотового наполнителя, номенклатура используемых материалов и их характеристики. На рис. 1 показана рассматриваемая сборочная единица.

Для упрощения задачи расчета времени прогрева выбираем в качестве расчетной единицы объем изделия равный объему сотовой ячейки плюс половина объема прилегающих стенок сотового наполнителя ($b_{ст}/2$) в максимальной высоте изделия, и объем верхней и нижней обшивки площадью равный площади ячейки. На рис.2 показана расчетная единица и её используемые характеристики.

Исходя из этого, находим два параметра времени:

1. Время нагрева столба газа находящегося в ячейке.

2. Время передачи тепла через поверхность обшивки, равной по площади ячейке.

Первый параметр времени рассчитывается, исходя из теплопроводности среды.

Второй же зависит от скорости передачи необходимого количества теплоты ячейке через обшивку. Решая следующие соотношения, получаем количественную характеристику времени.

Тепловой поток от рабочей среды к обшивке:

$$q_1 = a_1 \cdot (t_1 - t_{обш}) \cdot S; \quad (1)$$

Логинов Олег Анатольевич, аспирант кафедры «Самолетостроение». E-mail: pacifist21@rambler.ru
Ривин Георгий Леонидович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Самолетостроение». E-mail: rgl22@rambler.ru

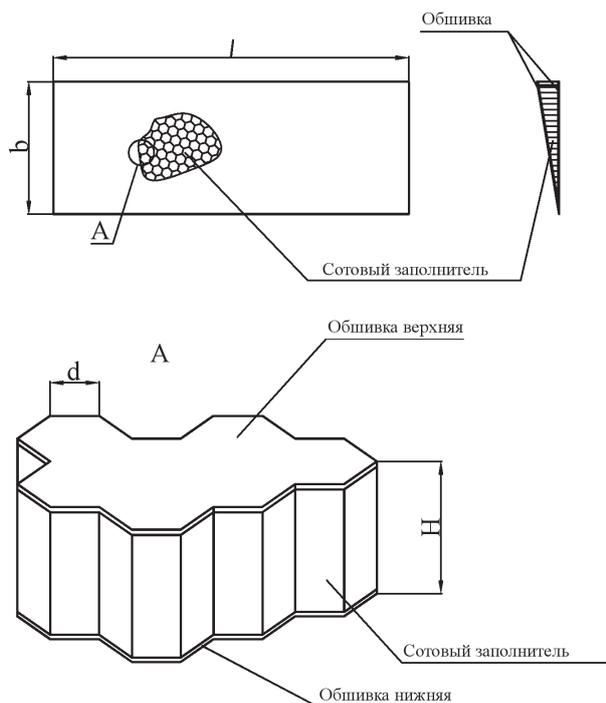


Рис. 1. Рассматриваемая сотовая конструкция

Тепловой поток от обшивки к ячейке:

$$q_2 = a_2 \cdot (t_{обш} - t_2) \cdot S; \quad (2)$$

Тепловой поток в обшивке:

$$q_{обш} = (t_1 - t_2) \cdot S \cdot k; \quad (3)$$

Общее количество теплоты, требуемое для прогрева расчетной единицы:

$$Q_{общ} = Q_{яч} + Q_{обш} + Q_{ст}, \quad (4)$$

где a_1, a_2, k – коэффициенты теплопередачи;

$t_1, t_2, t_{обш}$ – температура рабочей среды автоклава, температура ячейки, температура обшивки.

Температурное поле, описывающее объем детали математически выражается уравнением:

$$t = f(x, y, z, \tau), \quad (5)$$

где x, y, z – координаты точки;

τ – время.

При расчете следует выбрать больший из этих параметров. Это необходимо для того, что бы учесть различие в высоте сот для разных деталей.

На рис. 3 приведен график зависимости времени прогрева от высоты сот в изделии, без учета прогревания оснастки. За условную единицу времени примем количество времени, требуемое для прогрева детали с высотой сот равной 10 мм. Рассматривалась изделие с обшивкой из дуралюмина толщиной 1 мм, с металлическими сотами гексагональной формы со стороной ячейки 2,5 мм и толщиной стенки 0,2 мм.

Графики были построены на основании следствия из закона распространения теплоты путём теплопроводности следует:

$$W = \lambda \frac{t_c^1 - t_c^2}{\delta} F \tau, \quad (6)$$

где W – количество переданной теплоты, Дж;

λ – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплопроводности, Вт/(м·К);

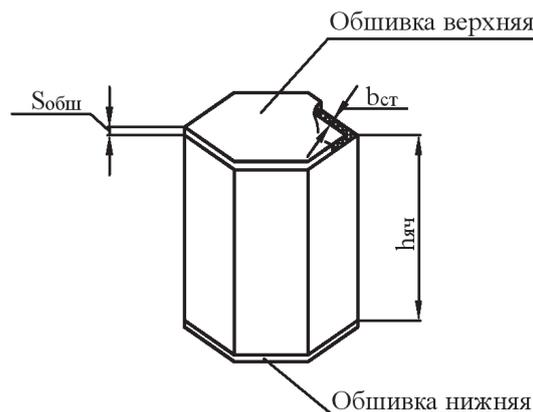


Рис. 2. Расчетная единица

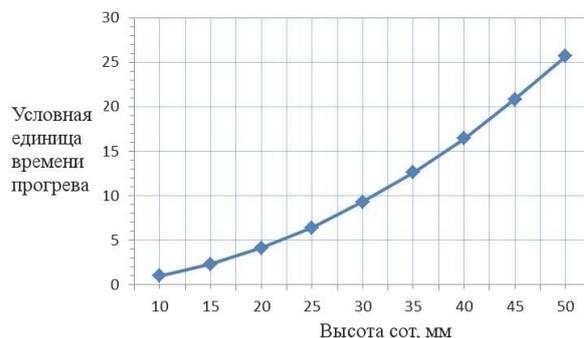


Рис. 3. График зависимости времени прогрева сборочной единицы от высоты сот со стороны ячейки 2,5мм

t_c^1 – температура одной поверхности стенки, К;

t_c^2 – температура другой поверхности стенки, К;

δ – толщина стенки, м;

F – площадь поверхности стенки, м²;

τ – время, с.

Как видно из графика, увеличение высоты сотового наполнителя приводит к увеличению времени прогрева, так как среда внутри ячейки представляет собой теплоизолирующий слой. Конечно, тепло распространяется по стенкам сотового наполнителя с большей скоростью, чем через воздух ячейки, но площадь сечения наполнителя меньше чем площадь занимаемая воздухом. Поэтому распространение тепла по стенкам замедляется отбором тепла ячейкой прогреваемой медленнее. И наоборот, прогрев ячейки ускоряется за счет прогретых стенок сотового наполнителя.

На рис. 4 приведена зависимость при увеличении площади ячейки сот в два раза. Этот график наглядно показывает, что при увеличении площади ячейки, скорость прогрева падает. Это происходит, из-за увеличения площади теплоизолирующего слоя при уменьшении площади сечения хорошо проводящего тепло металлического сотового наполнителя.

Количество требуемой теплоты для прогрева изделия считается исходя из ее геометрических параметров. Что при сегодняшнем уровне компьютерного моделирования не составляет труда.

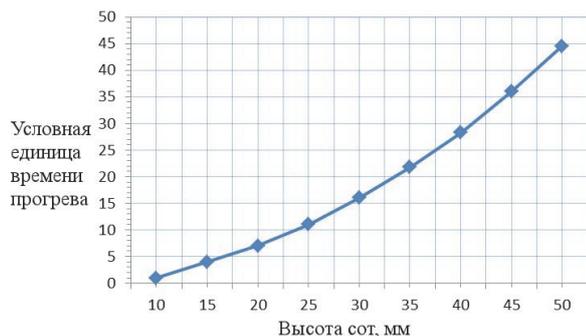


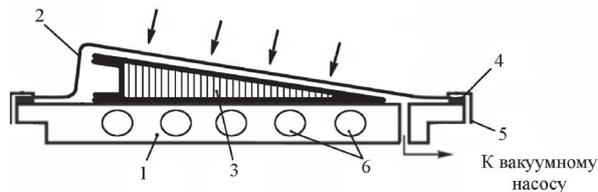
Рис. 4. График зависимости времени прогрева сборочной единицы от высоты сот со стороны ячейки 5мм

Что же касается расчета температурных полей в автоклаве, то по мере движения воздуха от крышки автоклава к вентилятору происходит его остывание. Поэтому автоклав можно условно разделить на несколько зон.

Это происходит из-за разности теплоемкости у различной оснастки и разности схем поглощения теплоты этой оснасткой. Для расчета теплоемкости и времени прогрева оснастки необходимо знать не только материалы, объем и поверхностную площадь нагреваемой конструкции, но и, к примеру, наличие и площадь окон для прохождения тепловых потоков в каркасе оснастки. Учитывая площади открытых частей и тепловой поток проходящий через вентиляционные окна мы можем рассчитать время, требующееся для прогревания, и количество теплоты, которое будет потреблять данная конструкция.

Для решения этой задачи представляется возможным, учитывая время прогрева впереди стоящего пакета, вычислять тепловой поток для следующего пакета, количество теплоты, требуемое для его нагрева и так далее по всему объему автоклава.

Решение данных задач позволит обеспечить



1 - форма(оснастка); 2- герметичная оболочка; 3 - сборочная единица; 4 - уплотнители; 5 - герметизирующая лента; 6 - вентиляционное окно.

Рис. 5. Схема конструкции

соблюдение условий температурного режима склеивания сотовых конструкций и увеличить сроки эксплуатации их эксплуатации при циклическом воздействии окружающей среды в течение длительного периода времени, исключить разрушение клеевых соединений, так как важное значение имеют режимы отверждения клеевого соединения. А также даст возможность оптимизировать конструкцию технологического оснащения на этапе ее проектирования с учетом процессов нагрева в автоклаве и при формировании плана загрузки технологических пакетов в автоклав возможна оптимизация расположения технологических пакетов с целью обеспечения требуемой длительности цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кербер М.Л. Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии. Профессия, 2008. 500 с, ил.
2. Халиулин В.И., Шанаев И.И. Технология производства композитных изделий: Учебное пособие. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2003.
3. Технологичность авиационных конструкций, пути повышения. Часть 1: Учебное пособие / И.М. Колганов, П.В. Дубровский, А.Н. Архипов. Ульяновск: УЛГТУ, 2003. 148 с.
4. Четкин А.В., Занемонец Н.А. Теплотехника: Учеб. для хим.-технол. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1986. 344 с.

PROBLEM OF EVENLY HEATING OF ADHESIVE JOINTS IN SANDWICH CONSTRUCTIONS IN THE GLUEING TOGETHER

© 2012 O.A. Loginov, G.L. Rivin

Institute of Aviation Technologies and Management of Ulyanovsk State Technical University

The authors are analyzing the process bonding sandwich honeycomb structures of complex shape in the autoclave and problems, which arise in obtaining high-quality adhesive joints due to the uneven heating of the upper and lower covering. The authors are proposing a way to solve this problem is to calculate the time of heating of structures and determining the temperature zones in an autoclave.

Key words: autoclave, honeycomb structures, the adhesive joint, temperature zones, the calculation time of heating, heat conductance.

Oleg Loginov, Graduate Student at the Aircraft Construction Department. E-mail: pacifist21@rambler.ru
Georgy Rivin, Candidate of Technics, Associate Professor at the Aircraft Construction Department.
E-mail: rgl22@rambler.ru