

УДК 678.8

ТЕХНОЛОГИЯ УСКОРЕННОГО ФОРМОВАНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ СОТОВЫХ ПАНЕЛЕЙ ИНТЕРЬЕРА САМОЛЁТА

©2013 Е.А. Вешкин, В.И. Постнов, О.Б. Застрогина, Р.А. Сатдинов

Ульяновский научно-технологический центр Всероссийского института авиационных материалов

Поступила в редакцию 26.09.2013

Рассмотрены технология ускоренного формования трёхслойных сотовых панелей и стеклопластика. Исследованы технологические свойства препрета на основе стеклоткани Т-15(П)-76 и связующего ВСФ-16М, а также режимы формования стеклопластика и трёхслойных сотовых панелей. Исследованы физико-механические свойства трёхслойных сотовых панелей.

Ключевые слова: фенолоформальдегидное связующее ВСФ-16М, препрет, технология ускоренного формования трёхслойных сотовых панелей.

В интерьере современных пассажирских самолетов около 80% конструкций самолета выполнены из трехслойных сотовых панелей, что объясняется их довольно высокой удельной прочностью и жёсткостью, по сравнению с традиционными монолитными. Это позволяет уменьшить толщину оболочек, панелей и число ребер жесткости и уменьшить массу конструкции.

Постепенный рост объёмов производства авиационной техники ставит перед производителями задачу экономической эффективности при изготовлении деталей из ПКМ[1], поэтому создание современного высокотехнологичного интерьера самолетов требует выполнения целого комплекса мероприятий:

- использование новых технологических процессов изготовления панелей интерьера обеспечивающих уменьшения длительности производственных циклов их изготовления, трудоемкости и энергозатрат.

- применение новых материалов обеспечивающих получение деталей высокого качества и соответствующих Авиационным правилам АП-25 по горючести, тепловыделению и дымообразованию [2].

Для изготовления панелей интерьера самолетов в настоящее время используются две основные технологии: вакуумное и прессовое формование [3,4]. Каждая из приведенных технологий имеет свои преимущества и недостатки. Наиболее широко применяется технология вакуумного формования в термопечи, которая позволяет из-

готавливать панели любой сложности и использует относительно дешевое оборудование (термопечь). Недостатком данной технологии является длительное время формования, что увеличивает трудоемкость и энергозатраты, а также наличие довольно большого количества расходных материалов (дренажные слои, разделительные пленки, вакуумные мешки, герметизирующие ленты), которые выбрасываются, загрязняя окружающую среду, а их стоимость включается в стоимость детали. Применение прессового формования для изготовления трёхслойных панелей интерьера отличается отсутствием вспомогательных материалов, что удешевляет процесс изготовления, но ограничивается формированием плоских трёхслойных панелей.

Технология ускоренного формования трёхслойных панелей (известная на западе как «crush-core»[5-9]) позволяет совместить преимущества вакуумного формования – способность изготавливать панели двойной кривизны и прессового формования – формовать панели без использования расходных материалов. Этот процесс значительно сокращает время изготовления панелей. Он эффективен при изготовлении сложнопрофильных деталей интерьера пассажирских самолетов при большом объеме производства однотипных деталей. Данная технология состоит из операции:

- выкладка плоского технологического пакета, состоящего из заполнителя и слоёв препрета;
- закладка технологического пакета в нагретую формуобразующую пресс-форму установленную в прессе;
- смыкание пресс-формы до заданного зазора между пуансоном и матрицей, с деформацией сотового заполнителя;
- выдержка технологического пакета при температуре формования, в течении заданного времени;

Вешкин Евгений Алексеевич, начальник сектора.

E-mail: intcviam@viam.ru

Постнов Вячеслав Иванович, доктор технических наук, заместитель начальника. E-mail: intcviam@viam.ru

Застрогина Ольга Борисовна, заместитель начальника лаборатории №12. E-mail: zastroginaob@viam.ru

Сатдинов Руслан Амиржанович, инженер-технолог.
E-mail: intcviam@viam.ru

- размыкание пресс-формы;
- извлечение готовой трёхслойной сотовой панели;
- механическая обработка технологических припусков, контроль свойств и качества панелей.

Основным материалом для изготовления панелей интерьера как отечественных, так и зарубежных самолетов, являются стеклопластики на основе фенолоформальдегидных связующих [10]. В нашей стране в настоящее время для изготовления панелей интерьера применяются стеклопластики на основе фенолоформальдегидных связующих ФПР-520 и ФП-520. Однако трехслойные панели из указанных стеклопластиков не отвечают современным требованиям по тепловыделению при горении, имеют длительный цикл отверждения и большое количество вспомогательных материалов при изготовлении вакуумным методом.

Для технологии ускоренного формования трёхслойных панелей интерьера в ФГУП «ВИАМ» разработано фенолоформальдегидное связующее ВСФ-16М с коротким циклом отверждения при температуре 140 °C [11, 12].

Для изготовления препрэга на основе указанного связующего был проведён выбор наполнителя. Одним из основных условий выбора тканого наполнителя для препрэга, на быстроотверждаемом фенолоформальдегидном связующем, являлось качество лицевой поверхности изготавливаемых трёхслойной сотовой панели интерьера. Для проведения исследований выбрано два тканых наполнителя: стеклоткань А-1 и стеклоткань Т-15(П)-76.

Из обоих видов стеклоткани изготовлены препрэги на связующем ВСФ-16М, которые использовались в изготовлении трёхслойных сотовых панелей двойной кривизны. Для этого были собраны технологические пакеты, состоящие из обшивок верхней и нижней, а также сотового заполнителя ПСП 1x2,5 между ними. Обшивка верхняя и нижняя в технологических пакетах выкладывалась из двух слоёв препрэга по трем схемам:

1. Внешний и внутренний слои препрэга на основе стеклоткани марки Т-15(П)-76 с содержанием связующего ВСФ-16М 50 % (мас)

2. Внутренний к сотовому заполнителю слой препрэга на основе стеклоткани Т-15(П)-76 с содержанием связующего ВСФ-16М 50 % (мас), а внешний из препрэга на основе стеклоткани марки Т-15(П)-76 с содержанием связующего ВСФ-16М 40 % (мас).

3. Внутренний к сотовому заполнителю слой препрэга на основе стеклоткани Т-15(П)-76 с содержанием связующего ВСФ-16М 50 % (мас), а внешний из препрэга на основе стеклоткани марки А-1 с содержанием связующего ВСФ-

16М 40 % (мас).

Формование панелей двойной кривизны проводилось по ускоренному режиму в специальной пресс-форме. При оценке качества лицевой поверхности изготовленных панелей установлено: все панели имеют хорошее качество лицевой поверхности без складок и морщин, однако при формировании панелей из препрэга с наносом связующего 50% (мас) на поверхности образуются наплысы отверженного связующего. Поэтому для изготовления трехслойных сотовых панелей двойной кривизны по ускоренной технологии формования необходимо использовать препрэг из стеклоткани Т-15(П)-76 и А-1 с содержанием связующего не более 40% (мас) для выкладки наружных слоев обшивок.

Для изготовления препрэга с необходимыми технологическими свойствами по липкости, эластичности и драпируемости выбирается режим сушки обеспечивающий высокую скорость пропитки стеклоткани, а также содержание летучих веществ в пределах от 4 до 8 %. (мас)

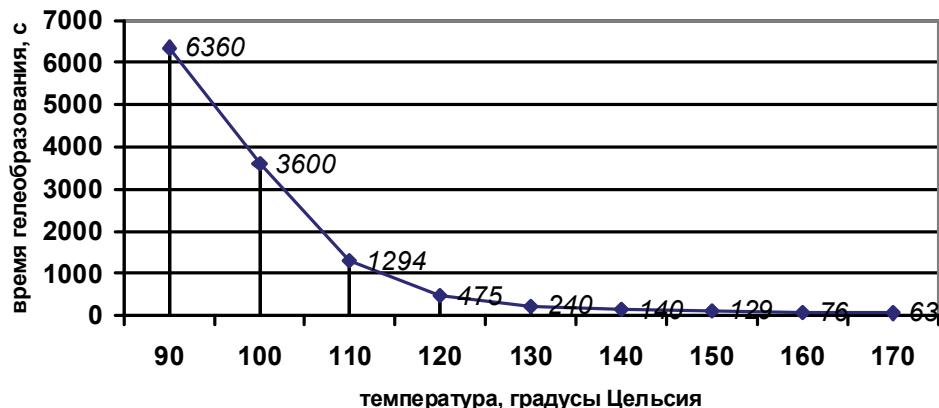
Для обоснования этих параметров проведены исследования зависимости содержания летучих веществ в препрэге от времени его выдержки (от 90 до 150 с) при температуре от 120 до 160 °C (содержание связующего в препрэге 40±5 % (мас)) и исследована зависимость времени желатинизации (гелеобразования) связующего ВСФ-16М от температуры выдержки. Результаты исследований приведены в табл. 1 и на рис 1.

Анализ полученных результатов показывает, что содержание летучих веществ (мас) при температуре сушки препрэга 120 ± 5 °C - уменьшается от 7,9 до 5,1%; при температуре сушки препрэга 140 ± 5 °C - уменьшается от 4,8 до 4,1%; при температуре сушки препрэга 160 ± 5 °C - уменьшается от 3,0 до 2,6 %, при этом содержание растворимой смолы (мас) в препрэге не падает ниже 98%, за исключением сушки препрэга при 160 ± 5 °C выше 120 с. Время гелеобразования связующего ВСФ-16М при температуре 160 °C составляет 76 с., сушка при данной температуре не стабильна и критична к соблюдению режимов сушки, при температуре 120 °C время гелеобразования связующего ВСФ-16М составляет 475 с, однако при данной температуре сушки скорость изготовления препрэга низкая технологически не эффективно. На основании полученных результатов исследований выбран следующий режим сушки препрэга: время сушки 90 с, при T=140±5 °C.

Проведены исследования зависимости величины зазора между отжимными валами (каландрами) установки УПР-4 на содержание связующего в препрэге (мас). Результаты исследований приведены в табл. 2

Таблица 1. Зависимость содержание летучих веществ (мас) от температуры и времени сушки

Материал	Температура сушки, °C	Время сушки, с	Массовая доля летучих веществ, %	Массовая доля связующего, %	Массовая доля растворимой смолы, %
Препрег стеклоткань Т-15(П)-76 на связующем ВСФ-16М	120 ± 5	90	7,9	40,1	99,1
		120	5,8	39,6	99,2
		150	5,1	37,9	99,4
	140 ± 5	90	4,8	37,1	99,1
		120	4,4	38,4	99,2
		150	4,1	39,5	99,3
	160 ± 5	90	3,0	39,7	98,2
		120	2,8	39,6	92,9
		150	2,6	39,9	66,4

**Рис. 1.** График зависимости времени гелеобразования быстроотверждаемого фенолоформальдегидного связующего от температур отверждения**Таблица 2.** Зависимость содержания связующего на препреге (мас) от зазора между отжимными валами

Материал	Температура сушки, °C	Величина зазора, мм	Массовая доля летучих веществ, %	Массовая доля связующего, %	Массовая доля растворимой смолы, %
Препрег стеклоткань Т-15(П)-76 на связующем ВСФ-16М	140 ± 5	0,3 ± 0,05	4,9	35,4	99,1
		0,4 ± 0,05	5,8	41,7	99,2
		0,5 ± 0,05	5,1	47,6	99,4
		0,6 ± 0,05	7,7	53,1	99,1

Из полученных результатов установлено, что изменение зазора между отжимными валами от 0,3 мм до 0,6 мм, влечёт увеличение содержания связующего с 35 % до 53 %(мас), при этом содержание летучих веществ не превышает 8%(мас) при температуре сушки 140 ± 5 °C в термокамере УПР-4. Для обеспечения изготовления препрега с наносом связующего 45 ± 5 %(мас) был выбран рабочий зазор между отжимными валами от $0,4 \pm 0,05$ мм до $0,5 \pm 0,05$ мм, в зависимости от поверхностной плотности исходной стеклоткани.

На основании проведенных исследований отработана опытно-промышленная технология изготовления препрега на основе стеклоткани Т-15(П)-76 и фенолоформальдегидного связующего ВСФ-16М на установке УПР-4.

Для определения сохранения технологических свойств препрега на основе стеклоткани марки Т-15(П)-76 и связующего ВСФ-16М, проведены исследования влияния на них времени хранения (1 и 3 мес), в производственном цехе, при температуре от +18 до +25 °C и в холодильной камере, при температуре от +2 до +5°C. Результаты исследований приведены в таблице 3

Установлено, что в образцах препрега после 1 и 3 мес. хранения в условиях холодильной камеры технологические свойства препрега практически не изменились, а после хранения в цехе изменились незначительно..

Для уточнения режима формования трёхслойных сотовых панелей из приведённых выше препрегов исследована степень отверждения

Таблица 3. Технологические свойства образцов препрета

Условия хранения препрета	Время хранения, мес	Массовая доля летучих веществ, %	Массовая доля связующего, %	Массовая доля растворимой смолы, %
При температуре +2 - +5°C (холод.)	1	5,9	41,1	99,4
при температуре +18 - +25°C (цех)	1	4,4	41,4	99,1
При температуре +2 - +5°C (холод.)	3	6,1	41,7	99,2
При температуре +18 - +25°C (цех)	3	3,6	41,0	95,6

связующего в препрете при различных температурно-временных режимах (в пределах температур от 120 °C до 160 °C и времени выдержки от 3 мин до 25 мин). Из полученных результатов исследований, был выбран режим формования: нагрев до температуры 140 °C, с временной выдержкой 20 мин.

На основе полученного препрета изготовлены опытные образцы стеклопластика прессовым методом из технологических пакетов, содержащих 6 слоёв препрета на основе стеклоткани Т-15(П)-76 и связующего ВСФ-16М. Формование образцов стеклотекстолита проводилось на гидравлическом прессе ДГ 2340, при этом технологические пакеты слоёв препрета закладывались в прессформу и извлекались при температуре 140 °C.

Результаты исследования физико-механических свойств полученных стеклопластиков (прочность при сжатии по ГОСТ 4651-82, прочность при изгибе по ГОСТ 4648-71, прочность при растяжении по ГОСТ 11262-80, плотности по ГОСТ 15139) приведены в табл. 4.

Анализ полученных результатов показал, что формование стеклопластика в прессе при удельном давлении 0,2 МПа, даёт пониженную проч-

ность при растяжении и повышенную пористость в стеклопластика в сравнении с другими давлениями формования. Изготовление стеклопластика при удельных давлениях 0,4 и 0,6 МПа обеспечивает пористость 10,4-7,5 % и высокие физико-механические характеристики. Для серийного формования стеклопластика выбрано давление 0,4 МПа.

На основании полученных результатов отработана технология изготовления крупногабаритных листов (1250мм x 2500 мм) стеклопластика в прессе VP-25 100/3.

Так как процесс формования трёхслойных панелей по ускоренной технологии происходит одновременно с деформацией сотового заполнителя, на испытательной машине Zwick/Roell Z050 проведено исследование динамики разрушения сот ПСП 1x2,5-64 высотой 5 и 10 мм при различных давлениях прессования (рис 2). Из приведённой зависимости можно увидеть, что потеря устойчивости стенок ячейки происходит в районе 20% деформации сотового заполнителя при усилии 62 МПа для сотового заполнителя высотой 5 мм и при усилии 23 МПа для сотового заполнителя высотой 10 мм.

Таблица 4. Физико-механические свойства стеклопластиков

Удельное давление формования, МПа	Прочность при растяжении, σ _в , МПа	Прочность при сжатии, σ _{сж} , МПа	Прочность при изгибе, σ _{изг} , МПа	Плотность, г/см ³	Содержание связующего, %	Пористость, %	Степень отверждения, %	Толщина монослоя, мм
0,2 ± 0,05	<u>289</u> - <u>325</u> 306	<u>440</u> - <u>503</u> 475	<u>507</u> - <u>547</u> 532	1,31	33,8	16,1	98,4	0,16
0,4 ± 0,05	<u>342</u> - <u>430</u> 377	<u>426</u> - <u>549</u> 498	<u>484</u> - <u>568</u> 516	1,42	30,3	10,4	98,4	0,15
0,6 ± 0,05	<u>398</u> - <u>414</u> 406	<u>436</u> - <u>556</u> 494	<u>460</u> - <u>522</u> 485	1,47	29,6	7,5	98,9	0,14

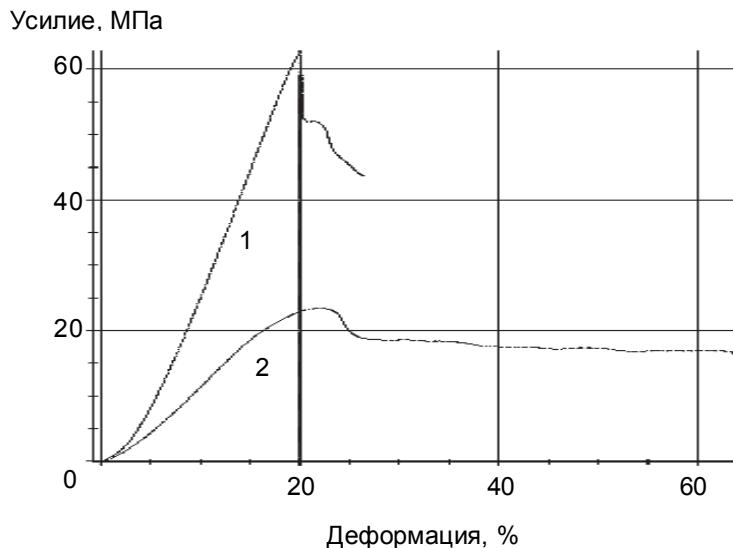


Рис. 2. Зависимость деформации сотового заполнителя ПСП-1х2,5-64 от прикладываемого усилия сжатия:
1 – высотой 5 мм; 2 – 10 мм

Таблица 5. Прочность при равномерном отрыве обшивки от заполнителя образцов трёхслойной сотовой панели

Тип образца	Величина деформации сотового заполнителя	Предел прочности при равномерном отрыве обшивки от заполнителя, $\sigma_{\text{отр}}$, МПа
Трёхслойная сотовая панель	2%	<u>2,6-2,7</u> 2,6
	5%	<u>2,5-2,7</u> 2,6
	10%	<u>2,5-2,9</u> 2,7
	15%	<u>2,3-2,4</u> 2,3

Для исследования влияния величины деформации сотового заполнителя на прочность при равномерном отрыве обшивки (из стеклоткани Т-15(П)-76 и связующего ВСФ-16М) от сотового заполнителя ПСП 1х2,5-64 сотовой панели изготовлены трёхслойные панели двойной кривизны в пресс-форме с деформацией сотового заполнителя от 2% до 15%. Образцы для испытаний вырезаны из плоских участков трёхслойных панелей. Результаты исследований приведены в табл. 5.

Анализ приведённых результатов показал, что предел прочности при равномерном отрыве обшивки от заполнителя образцов трёхслойной сотовой панели составляет от 2,3 МПа до 2,7 МПа в зависимости от величины деформации сотового заполнителя от 2% до 15%. Максимальная прочность при отрыве обшивки от заполнителя - 2,7 МПа получена при 10% деформации сотового заполнителя, но для обеспечения устранения раз-

нотолщинности пластин сотового заполнителя достаточно деформации от 2 до 5 %.

Отработка технологии ускоренного формования образцов трёхслойных сотовых панелей двойной кривизны, проводилась в пресс-форме, установленной в гидравлическом прессе ДГ 2430 с обогреваемыми плитами. Пресс-форма (рис. 3) состоит из двух частей пуансона и матрицы, зазор между ними эквидистантен, габаритные размер пресс-формы 400 x 250 мм. Пресс-форма имеет двойную кривизну формующей поверхности.

В процессе формования на указанной пресс-форме установлено что, формование образца трёхслойной панели двойной кривизны из сплошного технологического пакета, приводит к провоцированию образования большого количества морщин на лицевой поверхности из-за местной утяжки препрата пуансоном в отверстие матрицы, расположенного в центре (Рис. 4, а).



Рис. 3. Пресс-форма для формования образцов трёхслойной сотовой панели по ускоренной технологии (пуансон и матрица)

Для устранения данного дефекта в центре технологического пакета создано отверстие (Рис. 4, б), которое так же играет роль базы при фиксации технологического пакета в пресс-форме.

Для оптимизации структуры панелей рассмотрены различные варианты схемы ($0^\circ, 90^\circ, \pm 45^\circ$) выкладки обшивок из препрега стеклотекстолита ВПС-42П на сотовый заполнитель. По результатам исследований установлено, что схема армирования тканого наполнителя с углами $\pm 45^\circ$ относительно оси армирования детали, наилучшим образом формирует лицевую поверхность трёхслойной панели и помогает избежать образования складок и утяжек препрега внутри ячеек сот (рис 5). Стоит также отметить, что во избежании провоцирования коробления слои препрега должны быть выложены симметрично оси сотового заполнителя.

Методом ускоренного формования в предварительно нагретых обогреваемых плитах пресса KAMI VP25-100/3 изготовлена крупногабаритная трехслойная сотовая панель габаритным размером 1200x2500x10 мм (заполнитель - полимеросотопласт ПСП-1x2,5-64 мм и обшивки из

стеклотекстолита ВПС-42П). Результаты исследований свойств панели приведены в таблице 6.

Анализ полученных результатов показал, что прочность при отслаивании обшивки от сотового заполнителя, прочность при равномерном отрыве обшивки от заполнителя и прочность при четырёхточечном изгибе обеспечивает эксплуатационную надежность конструкции интерьера в процессе эксплуатации самолёта.

Исследование эксплуатационных (пожаро-безопасных) свойств трёхслойной панели с обшивками из пожаробезопасного стеклотекстолита и сотового заполнителя из полимеросотопласти ПСП-1-2,5-64 по АП-25, показали панели изготовленные методом ускоренного формования удовлетворяют требованиям предъявляемым к пассажирским самолётам (максимальная скорость выделения тепла 34 кВт/м² и общее количество выделившегося тепла за первые 2 мин 31 кВт·мин/м²).

Таким образом, трёхслойные панели изготовленные по ускоренной технологии формования по физико-механическим и пожаробезопасным свойствам удовлетворяют требования нормативно-технологической документации при изготовлении панелей интерьера, что является основным фактором для внедрения этой технологии в серийное производство панелей интерьера самолётов. При этом трудоёмкость и энергопотребление технологического процесса изготовления панелей интерьера значительно ниже серийных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. сб. (приложение к журналу "Авиационные материалы и технологии"). М.: ВИАМ. 2012. С. 7-17.
2. Барботько С.Л., Кириллов В.Н., Шуркова Е.Н. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. 2012. №3. С. 56-63.



а



б

Рис. 4. Фрагмент лицевой обшивки образца трёхслойной панели с образовавшимися морщинами (а); технологический пакет с отверстием в центре (б)

Таблица 6. Механические характеристики образцов трёхслойной сотовой панели

Характеристика образца	Предел прочности		
	при отслаивании обшивки от заполнителя, $\sigma_{\text{отд}}$, Нм/м	при равномерном отрыве обшивки от заполнителя, $\sigma_{\text{отр}}$, МПа	при 4-х точечном изгибе, $\sigma_{\text{изг}}$, МПа
Трёхслойная сотовая панель (заполнитель - полимеросотопласт ПСП-1-2,5 и обшивки из стеклотекстолита ВПС-42П)	<u>9,6 -12,2</u> 11,1	<u>2,2 -2,9</u> 2,5	<u>190 -245</u> 215



Рис. 5. Образец трёхслойной сотовой панели с заделанными по контуру торцами, изготовленный по ускоренной технологии формования

3. Стрельников С.В., Застрогина О.Б., Вешкин Е.А., Швец Н.И. К вопросу о создании высокоэффективных технологий изготовления панелей интерьера в крупносерийном производстве // Авиационные материалы и технологии. 2011. №4. С.18-24.
4. HexPly Prepreg Technology. Product DataSheet, Hexcel Corporation. Publication No. FGU 017c. 2013.
5. Постнов В.И., Петухов В.И., Стрельников С.В., Вешкин Е.А., Застрогина О.Б. Особенности «crush-core» технологии в изготовлении трехслойных сотовых панелей // Технологии быстрого формования трехслойных сотовых панелей для интерьеров самолетов. Ульяновск: УГУ им. Гагарина, 2012. С. 10-15.

лей интерьера // Тезисы XI Всероссийской научно-технической конференции и школы молодых ученых, аспирантов и студентов. Воронеж. 2010. С.41-43.

6. Black S. Advanced materials for aircraft interiors // High-performance composites. 2006. №11. (электронный журнал).
7. Вешкин Е.А. Панели интерьера быстро и качественно // Инженерная газета «Индустрия». 2010. №26-27. С.4.
8. Method of forming a honeycomb structural panel: Pat. US 3.815.215 11.06.1974.
9. A Method of making crushed core molded panels патент: Pat. US 4917747 17.04. 1990.
10. Phenolic resins: A Century of progress. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2010.
11. Серкова Е.А., Швец Н.И., Застрогина О.Б., Постнов В.И., Петухов В.И., Барботъко С.Л., Вешкин Е.А. Быстроотверждаемое фенолформальдегидное связующее перерабатываемое по «crush-core» технологии, для пожаробезопасных материалов интерьера // Тезисы докладов XIX конференции Конструкции и технологии получения изделий из неметаллических материалов. Обнинск. 2010. С.70-71
12. Застрогина О.Б., Швец Н.И., Постнов В.И., Серкова Е.А. Фенолформальдегидные связующие для нового поколения материалов интерьера// В сб. Авиационные материалы и технологии: Юбилейный науч.-технич. сб (приложение к журналу "Авиационные материалы и технологии"). М.: ВИАМ. 2012. С. 265-272.

TECHNOLOGY RAPID FORMING SANDWICH HONEYCOMB PANELS AIRCRAFT INTERIOR

© 2013 E.A. Veshkin, V.I. Postnov, S.V. Strel'nikov, O.B. Zastrogina, R.A. Satdinov

Ulyanovsk Scientific and Technological Center of the All-Russian Institute of Aviation Materials

The technology of the accelerated formation of three-layer honeycomb panels and fiberglass-ley. Technological properties of the prepreg investigated on the basis of fiberglass T-15(P)-76 and binder WSF-16M, as well as modes of formation fiberglass and honeycomb sandwich panels. The physico-mechanical properties of the honeycomb sandwich panels were investigated.

Keywords: phenol-formaldehyde binder WSF-16M, prepreg, technology of rapid formation of three-layer honeycomb panels.

Eugene Veshkin, Head of Sector. E-mail: untcviam@viam.ru
Vyacheslav Postnov, Doctor of Technics, Deputy Head.

E-mail: untcviam@viam.ru

Olga Zastrogina, Deputy Head at the Laboratory Number 12.

E-mail: zastroginaob@viam.ru

Ruslan Satdinov, Engineer. E-mail: untcviam@viam.ru