

УДК 62-52

Способ автоматического управления вакуумной технологией изготовления препрегов

Глебов И.В.^{*}, Котенко В.Д.^{}**

*Московский государственный университет леса,
ул. 1-я Институтская, 1, Мытищи-5, 141005, Россия*

**e-mail: glebov@mgul.ac.ru*

***e-mail: kotenko@mgul.ac.ru*

Аннотация

В статье описан способ автоматического управления процессом изготовления препрега на основе кремнезёмных вязально-прошивных полотен и бакелитового лака. Данный способ позволяет реализовать вакуумную многоступенчатую технологию изготовления препрега, которая сокращает время производства по сравнению со стандартной технологией в несколько раз.

Способ заключается в контроле массы пропитываемой заготовки на этапах вакуумной пропитки вязально-прошивного полотна и вакуумной сушки. По известным соотношениям компонентов в бакелитовом лаке и приведённым в статье формулам расчёта вычисляется требуемая масса препрега на каждом этапе процесса изготовления. Управление процессом ведётся путём контроля давления в пропиточной камере, скорости вакуумной пропитки и сушки и времени выдержки пропитанной заготовки под пропиточным давлением.

Также в статье приведён примерный алгоритм для программной реализации описанного автоматического процесса управления.

Ключевые слова: способ управления, препрег, вакуумная пропитка, стеклопластик, композит.

Технология препрегов является распространённой технологией для производства композиционных материалов различного назначения, как конструкционных, так и функциональных. Для производства препрегов применяются различные технологии [1, 2, 3, 4].

Однако существуют композиционные материалы, препреги для производства которых нельзя получить обычными методами. К таким материалам, в частности, относятся композитные абляционные ТЗП (теплозащитные покрытия), которые, главным образом, используются для защиты космических спускаемых аппаратов, но также могут применяться для теплозащиты пожарных машин, дорогостоящей техники и произведений искусства.

Для изготовления таких ТЗП применяются препреги на основе кремнезёмных и кремнезёмно-капроновых вязально-прошивных полотен [5] и бакелитового лака ЛБС-4 [6]. Они изготавливаются путём пропитки заготовок из нужных полотен в ванне, заполненной лаком, до достижения требуемого содержания в них ФФС (фенолформальдегидной смолы). Такой способ изготовления является очень продолжительным (до 60 суток) и трудоёмким.

Такая продолжительность процесса пропитки объясняется высокими требованиями по содержанию ФФС, предъявляемыми к данному препрегу (табл.1).

Таблица 1.

Требования по содержанию ФФС к препрегам для производства ТЗП

Марка ткани для препрега	Требования по содержанию ФФС в препреге, % масс
Кремнезёмная ткань	35...40
Кремнезёмно-кпроновая ткань	Более 40

Для сокращения времени технологического процесса, снижения расхода бакелитового лака и автоматизации процесса МГУЛеса совместно с ЗАО«ЗЭМ» РКК «Энергия» им. С.П. Королёва была разработана технология многократной вакуумной пропитки полотен с промежуточными вакуумными сушками [7, 8], позволяющая получать в препрегах высокое содержание ФФС с сокращением времени процесса более чем в 10 раз. Однако использующийся в данной технологии способ контроля процесса пропитки не позволяет проводить точное отслеживание параметров препрега в процессе изготовления. Поскольку контроль содержания ФФС в препреге предлагается осуществлять по количеству удалённого в процессе вакуумной сушки растворителя после его конденсации, не исключено частичное попадание растворителя в вакуумную линию и его потеря, а также ошибки, связанные с неточностью визуального определения объёма растворителя.

Для реализации этой технологии разработан способ управления процессами пропитки и сушки, позволяющий с высокой точностью контролировать содержание ФФС и летучих продуктов в каждый момент технологического процесса и

управлять выходными параметрами препрега путём регулирования продолжительности протекающих процессов.

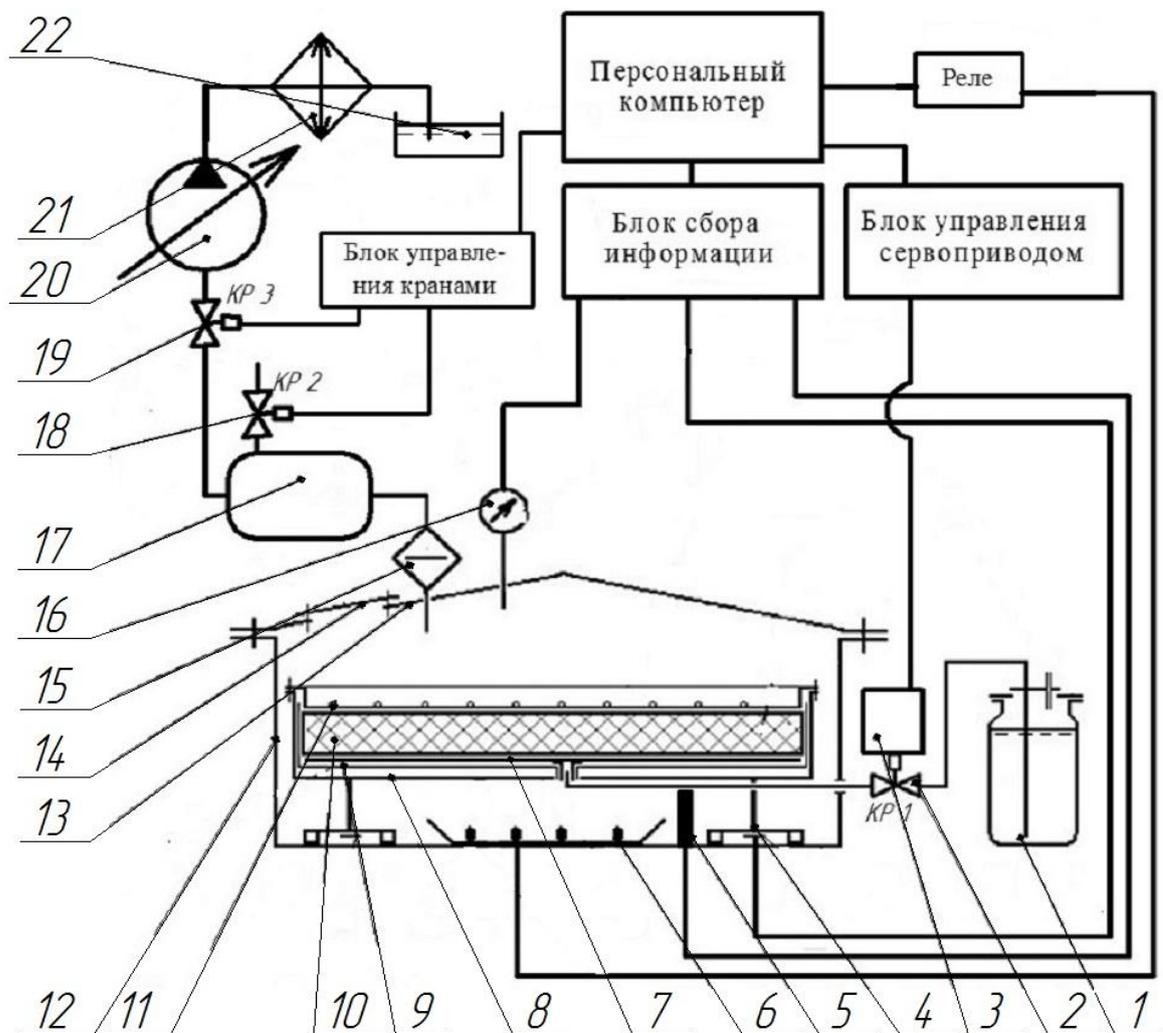
Изготовление препрега ведётся в герметичной камере оборудованной системами вакуумной пропитки и сушки заготовок из вязально-прошивных полотен, а также системой контроля и регулирования расхода лака, количества удаляемых летучих продуктов, давления и температуры на всех этапах процесса (рис. 1).

Изготовление препрега производится подачей лака из ёмкости (1) в заготовку (10), размещённую в кассете (8), которая помещается в герметичную камеру (12, 13), многоразовой вакуумной пропиткой и сушкой заготовки. Автоматизация технологического процесса изготовления препрега осуществляется с помощью контрольно-измерительного комплекса.

Температура в камере постоянно поддерживается на заданном уровне при помощи датчика температуры (5) и реле управления нагревателем.

Датчик давления (16) измеряет величину давления в камере в процессах пропитки и сушки, а его величина на заданном уровне поддерживается системой автоматического управления кранами вакуумной линии (КР 3) и линии атмосферного давления (КР 2).

Применение датчиков усилия (4) позволяет контролировать массу пропиточной кассеты и через систему управления регулировать расходы лака и летучих продуктов, а также продолжительность процессов вакуумной пропитки и вакуумной сушки.



1 – ёмкость с лаком, 2 –кран регулирования подачи лака, 3 – сервопривод управления краном регулирования подачи лака, 4 –датчик усилия, 5 –датчик температуры, 6 – нагреватель, 7 – распределительная сетка, 8 –пропиточная кассета, 9 – жертвенный материал, 10 – пропитываемая заготовка, 11 – прижимная решётка, 12 –корпус вакуумной камеры, 13 – крышка вакуумной камеры, 14 –смотровое окно, 15 –отделитель смолы, 16 –датчик давления, 17 –балластная ёмкость, 18 – электромагнитный кран атмосферного давления, 19 – электромагнитный кран вакуума, 20 – вакуумный насос, 21 –конденсатор паров растворителя, 22 –ёмкость для сбора конденсата

Рисунок 1 –Установка для изготовления препрега с системами контроля и управления

Система управления процессом пропитки включает в себя персональный компьютер (ПК) с установленной на нем управляющей программой (УП), блок

сбора информации с датчиков температуры, давления и усилия, состоящий из предварительного усилителя сигналов и АЦП. Управление температурой, давлением и скоростью подачи лака производится при помощи соответствующих контуров с блоками управления кранами и сервоприводом.

Контур управления давлением, состоит из двух электромагнитных кранов (вакуумного КР 3 и крана атмосферного давления КР 2), подключенных к блоку управления кранами, а контур управления подачей лака, состоит из крана подачи лака КР 1 с сервоприводом, подсоединенным к блоку управления сервоприводом.

Для изготовления препрега пустая кассета устанавливается в камеру на датчики усилия и после взвешивания её масса обнуляется и считается начальной нулевой массой. Затем в кассету укладывают заготовку из полотна необходимой марки (ПВП КТ или ПВП КТК) и вакуумную камеру закрывают.

ПК, считывая сигнал с датчиков усилия, определяет массу полотна M_n (кг), и требует ввести следующие данные: требуемую массовую долю ФФС в препреге g_ϕ , %; массовую долю ФФС в лаке q_ϕ , %; количество циклов пропитки n_{np} ; массовую долю удаляемого при сушке растворителя g_{cy} , %; температуру в камере t_k , °С; время пропитки τ_{np} , мин; величину давления при пропитке p_{np} Па; частоту измерения прироста массы кассеты при пропитке $\Delta\tau$, с.

Затем УП производит расчёт следующих величин:

– массу смолы в препреге при заданном её содержании

$$M_\phi = \frac{g_\phi M_n}{100 - g_\phi}$$

– массу лака, которую необходимо откачать из ёмкости для обеспечения заданного содержания смолы в препреге

$$M_{л} = \frac{100 \cdot M_{\phi}}{q_{\phi}}$$

– массу порции лака, необходимую для каждой пропитки, по формуле

$$M_{лн} = \frac{M_{л}}{n_{пр}}$$

– массу удаляемых при каждой сушке летучих продуктов

$$M_{лну} = M_{лн} \cdot \frac{g_{су}}{100} \cdot \frac{(100 - q_{\phi})}{100};$$

После расчёта этих величин программа считывает данные о температуре в камере с датчика температуры на блок сбора информации, и сравнивает полученное значение с заданным t_k . Если значение отличается от заданного, то УП посылает сигнал на реле управления для включения или выключения нагревателя. Установленная температура в камере поддерживается в течение всего времени изготовления препрега.

При достижении заданной температуры в камере запускается первый цикл пропитки ($n_{пр} = 1$). УП считывает данные о давлении в камере с блока сбора информации и сравнивает его с заданной величиной $p_{пр}$. Если давление в камере отличается от пропиточного, то программа при помощи блока управления кранами открывает и закрывает краны атмосферного давления и вакуумной линии пока не установится необходимое давление.

Затем начинается процесс вакуумной пропитки заготовки лаком из ёмкости. В процессе пропитки УП считывает данные с датчиков усилия и кран линии подачи лака остаётся открытым пока масса кассеты при пропитке M_{nl} не достигнет значения

$$M_{nl} = Mn + M_{ln}.$$

После этого кран КР 1 закрывается и начинается цикл вакуумной сушки.

Контроль продолжительности пропитки осуществляется путём сравнения текущей скорости поступления лака в заготовку с расчётной.

Расчётное количество лака, поступающее в заготовку за время между измерением прироста массы кассеты определяется из следующего соотношения, кг:

$$\Delta M_p = \frac{M_{ln} \cdot \Delta \tau}{\tau_{np} \cdot 60}.$$

Считывание данных о массе кассеты и расчёт прироста массы лака производится через заданный промежуток времени $\Delta \tau$, и текущий прирост массы определяется как, кг:

$$\Delta M_T = M_{тек} - M_{пред},$$

где $M_{тек}$ – текущая масса кассеты,

$M_{пред}$ – масса кассеты при предыдущем измерении;

Если $\Delta M_T < \Delta M_p$, то УП посылает сигнал на блок управления сервоприводом крана подачи лака КР 1 и сервопривод приоткрывает кран, при $\Delta M_T > \Delta M_p$ – прикрывает кран, а при $\Delta M_T = \Delta M_p$ не производит никаких действий.

В начале цикла вакуумной сушки УП считывает данные с датчика температуры и по заложенной в программе таблице [9] определяет соответствующее текущей температуре давление кипения лака $p_{кл}$ (Па), которое равняется парциальному давлению паров используемого растворителя при текущей температуре. Это давление принимается за давление вакуумной сушки препрега p_c .

Затем УП считывает данные о давлении в камере и сравнивает его с величиной давления сушки p_c . Если полученное значение давления отличается от давления вакуумной сушки, то УП увеличивает или уменьшает давление в камере, регулируя краны КР2 и КР3 с помощью блока управления кранами.

В процессе вакуумной сушки УП считывает данные с датчиков усилия и вакуумная сушка производится до тех пор, пока из пропитанной заготовки не удалится необходимая масса растворителя. Масса кассеты в конце вакуумной сушки M_{nc} должна иметь следующее значение, кг:

$$M_{nc} = M_{nn} - M_{лгу}.$$

Далее УП присваивает $n = 2, 3$ и т.д., заменяет Mn на M_{nc} и повторяет циклы вакуумной пропитки и сушки $n_{np}-1$ раз.

После окончания процессов пропитки и сушки УП посылает сигналы на закрытие крана КР 3 и открытие крана КР 2, с корпуса вакуумной камеры снимается крышка и пропиточная кассета с готовым препрегом извлекается из камеры.

На рисунке 2 показан примерный алгоритм процесса управления пропиткой для программной реализации. Алгоритм имеет несколько основных блоков: измерение массы полотна, ввод констант, расчёт параметров, управление

температурой, давлением и контроль массы кассеты в процессах вакуумной пропитки и сушки.

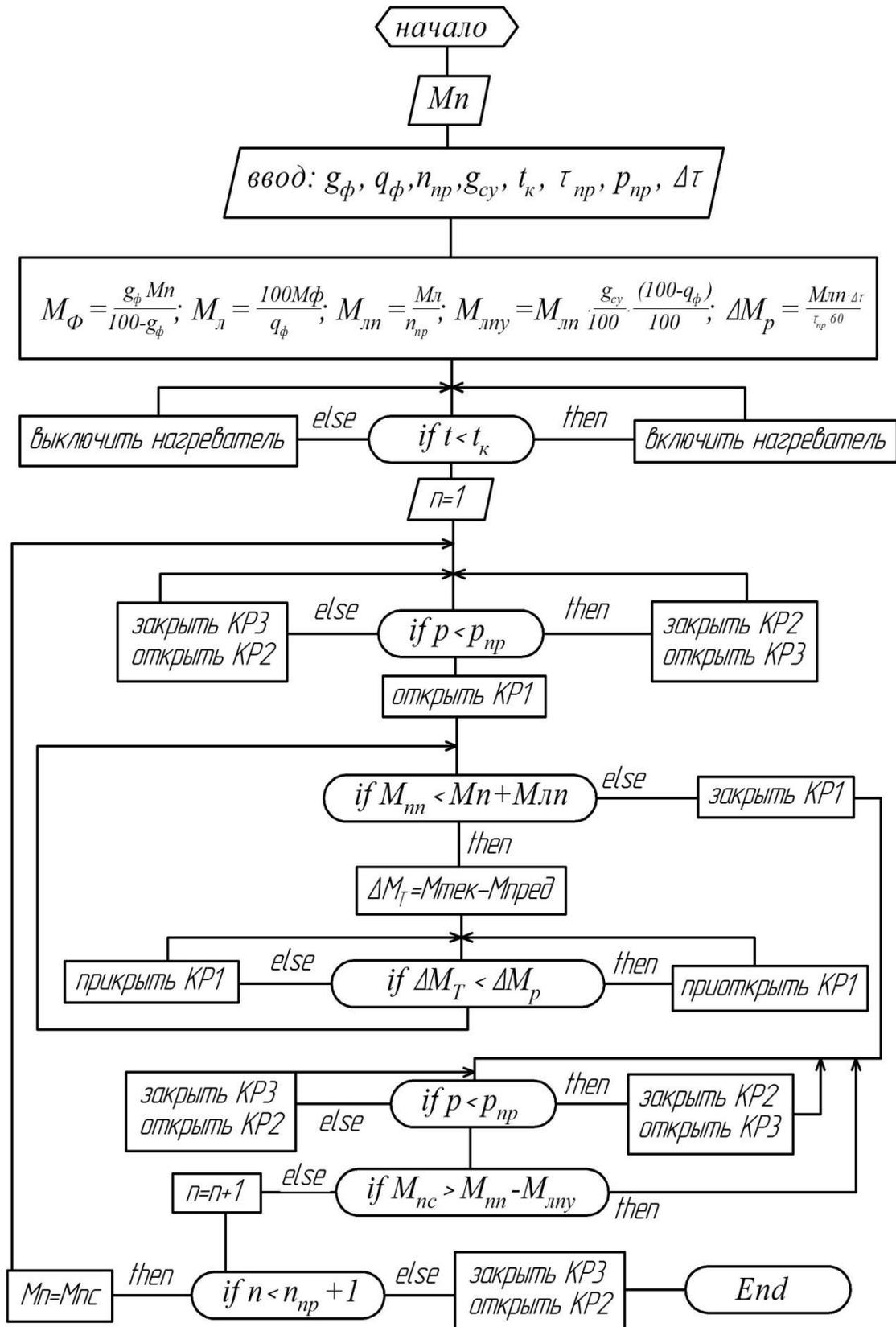


Рисунок 2 – Алгоритм управления процессом изготовления препрега

Разработанная система позволяет с высокой точностью контролировать и управлять процессом изготовления препрега. При вводе констант можно задать любое требуемое значение содержания ФФС в готовом препреге, а также возможно гибко управлять временем вакуумной пропитки, что необходимо при пропитке заготовок из полотен различных марок.

Библиографический список

1. Способ пропитки пористых материалов и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2011511 / Товарищество с ограниченной ответственностью "ФАЛТ ЛТД Д.А. / Д.А. Беленков, В.Г. Новосёлов, Ю.А. Сров, А.Е. Озерский, С.А. Аксельрод. Заявлено 18.12.1991, опубликовано 30.04.1994. - 6 с.
2. Способ получения препрега. Патент № 2302431 РФ / Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов / В.И. Постнов, В.И. Петухов, Н.С. Кавун, О.Е. Котов, В.А. Кухарев. Заявка №2005139704/04 от 20.12.2005. Бюл. №19 от 10.07.2007. 6 с.
3. Способ изготовления препрега. Патент № 2321606 РФ / Обнинское научно-производственное предприятие «Технология» / А.И.Быков, С.Н. Шестухина, Д.В. Моторин, Н.В. Мухин, Н.В. Выморков, Б.В. Чернышов, Б.Т. Федотов. Заявка №2006121850/04 от 19.06.2006. Бюл. № 10 от 10.04.2008. – 8 с.
4. Способ изготовления препрега. Патент № 2447097 РФ / Министерство промышленности и торговли Российской Федерации / В.И. Постнов, В.И.

Петухов, С.В. Стрельников, Е.А. Вешкин. Заявка №2010137273/05 от 08.09.2010. Бюл. №10 от 10.04.2012. 6 с.

5. Полотна вязально-прошивные дублированные технического назначения. Технические условия. ГОСТ 13863-89. – М.: Издательство стандартов, 1989. - 11 с.
6. Лаки бакелитовые. Технические условия. ГОСТ 901-78. – М.: Издательство стандартов, 2003. - 15 с.
7. Патент № 2484956 РФ. Способ изготовления препрега. / РКК «Энергия» / А.Ф. Стрекалов, В.А. Пащенко, В.А. Романенков, А.И. Терёхин, Л.Н. Кузнецова, В.В. Абразумов, В.Д. Котенко, И.В. Сапожников, Е.В. Редянова. Заявка №2012112232/04 от 29.03.2012. Бюл. №17 от 20.06.2013 – 7 с.
8. Котенко В.Д., Абразумов В.В., Сапожников И.В., Романенков В.А., Кузнецова Л.Н., Терехин А.И. Технология получения препрегов с высоким содержанием полимера // Лесной вестник. 2013. №1(93). С. 77-81.
9. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей – М.: Наука, 1972. – 720 с.