

И.А. Акимов^{*}, А.И. Акимов^{*}, М.А. Фатыхов^{**}

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОБМЕНА В УСТАНОВКЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

^{*}Уфимский государственный авиационный технический университет,
ул. К. Маркса, 12, Уфа-центр, 450000, Башкортостан, Россия

^{**}Башкирский государственный педагогический университет,
ул. Октябрьской революции, 3, Уфа-центр, 450000, Башкортостан, Россия

Композиционные материалы обладают уникальными упругими и прочностными свойствами, превосходящими параметры металлических изделий, в связи с чем широко применяются в современной промышленности. Одним из методов изготовления таких материалов является метод полимеризации. В качестве основного оборудования для полимеризации служат установки автоматического ведения технологического процесса (АВТП). Кроме того, технологии получения композиционного материала характерна, в частности, многостадийность процесса прогрева, многослойность соответствующих конструкций с различными теплофизическими свойствами и фазовые переходы. Основная трудность при этом возникает из-за необходимости учета этих факторов и управления ими, то есть необходимо найти оптимальный режим полимеризации композиционных материалов в установке АВТП. С этой целью проведены экспериментальные исследования изменения температуры во времени в композиционном материале, изготавливаемом в этой установке.

Описание экспериментальной установки АВТП

На рис. 1 представлена блок-схема экспериментальной установки, основными частями которой являются источник питания, устройство управления им, измерительно-регистрающее и исполнительное устройства.

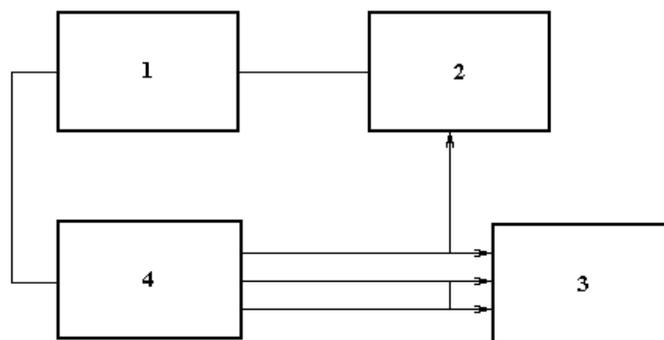


Рис.1. Общая схема экспериментальной установки: 1 – источник питания, 2 – устройство управления источником питания, 3 – измерительно-регистрающее устройство, 4 – исполнительное устройство – пресс-форма

Главный элемент исполнительного устройства этой установки – пресс-форма. Она состоит из нижних и верхних плит, выполненных из металла Д16Т. Нижняя плита стационарная, верхняя плита – открывающаяся относительно нижней. В плитах выполнены ручки, повторяющие наружный контур изделия в закрытом состоянии. По всей длине пресс-формы просверлены отверстия для контроля над изменением температуры. Кроме того, для определения скорости изменения температуры внутри материала было изготовлено препарированное изделие.

Для формирования внутреннего канала изделия и прессовки листов в пресс-формах работает система, обеспечивающая давление.

Система принудительного охлаждения применяется для ускоренного охлаждения пресс-формы после проведения режима совместной опрессовки. Она представляет собой отвод от сетевой магистрали сжатого воздуха, две трубы с отверстиями, установленные по всей длине под пресс-формой, и запорный кран. При использовании этой системы скорость охлаждения пресс-форм увеличивается в 1,5 – 2 раза.

Электронагревательные элементы изготовлены из ленточного металла марки 12Х118Н9Т, расположены в верхней и нижней частях плит вдоль всей длины пресс-формы и обеспечивают нагрев плит. Они уложены в обнаженную часть пресс-формы и прикрываются сверху П-образным профилем. Этот профиль имеет одну степень свободы для регулировки зазора между нагревателем и плоскостью обуженной части плиты пресс-форм. Регулировка зазора производится при помощи регулировочных устройств.

Подводка напряжения к нагревателям пресс-форм осуществляется при помощи шин сечением не менее 400 мм².

Источник питания состоит из понижающего силового трансформатора, трехфазного тиристорного выпрямителя и схемы управления ими. Понижающий трансформатор предназначен для снижения напряжения на нагревательных элементах пресс-форм до безопасных пределов. Применение тиристорного выпрямителя необходимо для обеспечения возможности регулирования выходной мощности в процессе прессования. Кроме того, трехфазная схема обеспечивает меньшую величину пульсаций выходного напряжения, что положительно сказывается на уменьшении погрешности измерений температуры. Она обеспечивает и равномерную нагрузку по фазам сети, что немаловажно при большой потребляемой мощности.

В устройство управления тиристорами входят следующие блоки: блоки защиты, сигнализации, импульсного регулирования, импульсно-фазового управления и выходных усилителей.

На рис. 2 показаны функциональные связи устройства управления тиристорами с внешними элементами.

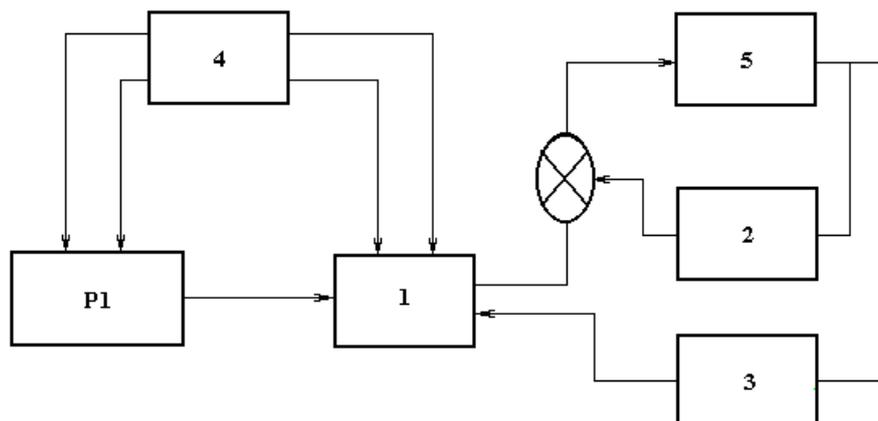


Рис. 2. Функциональная схема управления тиристорами: 1 – устройство управления тиристорами, 2 – датчик тока, 3 – устройство контроля и сигнализации, 4 – пульт дистанционного управления, 5 – блок тириستоров, P1 – регулятор напряжения

Рассмотрим принцип работы устройства управления тиристорами. Блоки защиты и сигнализации представляют собой устройства, осуществляющие защиту выпрямительного агрегата при коротких замыканиях и перегрузках по току. Защита от коротких замыканий построена на операционном усилителе, включенном по схеме компаратора, охваченного положительной обратной связью. В исходном состоянии имеем на выходе объекта управления напряжение положительной полярности.

В момент сравнения напряжения, снимаемого с датчиков тока с опорным напряжением, происходит изменение полярности с положительной на отрицательную, ограничиваемое диодом до нуля. Таким образом, на выходе блока защиты имеем изменение сигнала от +1 до 0. Нулевой сигнал поступает на блок сигнализации. Последний обеспечивает срабатывание реле, которое своими размыкающими контактами отключает контактор, а следовательно, и силовую часть выпрямительного агрегата. Одновременно сигнал 0 поступает на блоки импульсно-фазового управления, накладывая запрет на прохождение импульсов управления на силовые тиристоры.

Защита от перегрузок по току построена на двух операционных усилителях, включенных по схеме компаратора и на объекте управления, включенном по схеме интегратора. На выходе компаратора при перегрузке сигнал 0 поступает на блок сигнализации, предупреждая о появлении перегрузки. Одновременно начинается разряд интегрирующей емкости. Плавное изменяющееся напряжение на выходе интегратора подается на выход второго компаратора, и в момент сравнения напряжения с опорным происходит изменение полярности. Сигнал с выхода поступает на блок сигнализации. В результате

накладывается запрет на прохождение импульсов управления на силовые тиристоры, и происходит отключение агрегата от сети. Время, отсчитанное от момента изменения полярности на выходе компаратора до изменения полярности напряжения на втором компараторе, определяет временную задержку на отключение выпрямительного агрегата от сети при перегрузках по току. Если в течение временной задержки на отключение перегрузка прекращается, то схема защиты возвращается в исходное положение.

Блоки, формирующие импульсы управления тиристорами, осуществляют регулирование их по фазе. Всего имеется 6 каналов импульсно-фазового управления. Регулирование по фазе импульсов управления построено по вертикальному принципу. Вкратце рассмотрим работу одного из каналов импульсно-фазового управления. С помощью транзистора и цепи осуществляют формирование пилообразного напряжения. Начало формирования пилообразного напряжения связано с моментом перехода синхронизирующего напряжения фазы трансформатора синхронизации через нуль. В момент сравнения пилообразного напряжения с напряжением управления происходит изменение полярности напряжения на выходе операционного усилителя. С помощью дифференцирующей цепочки осуществляется формирование узкого импульса управления, который поступает на блок импульсного регулирования. С выхода блока импульсного регулирования сформированный импульс поступает на блок выходных каскадов для дальнейшего усиления. Аналогично формирование импульсов происходит и в остальных каналах. Каждый импульс сдвинут относительно друг друга на 60 эл. Для обеспечения устойчивой работы формирователя импульсов служит фильтр, который обеспечивает сглаживание всплесков и провалов в синхронизирующем напряжении.

Блоки входных каскадов представляют собой устройства, осуществляющие усиление импульсов управления, поступающих с блоков импульсно-фазового управления. Число выходных каскадов равно числу каналов.

Для контроля выходных параметров в выпрямительном агрегате установлены измерительные щитовые приборы, вольтметр и амперметр.

При проведении экспериментов использовались два режима системы управления.

Эксперименты с автоматическим регулированием проводились с использованием трансформаторов выпрямительных агрегатов. Устройство для автоматического регулирования температуры представляет собой упрощенную следящую систему с принципом регулирования по отклонениям. С ее помощью упрощается анализ динамических характеристик пресс-форм.

Для ручного регулирования в непосредственной близости от регулируемой пресс-формы пульт содержит кнопки «пуск» и «стоп», регулятор напряжения, вольтметр, амперметр.

Измерительно-регистрирующие устройства представляют собой систему, включающую соответствующие электроизмерительные приборы, потенциометры и манометры.

Для измерения, регистрации и регулирования температуры служат потенциометры КСП-4. Эти приборы предназначены для работы в стационарных условиях при температуре окружающей среды от 5 до 50⁰С. Потенциометры КСП-4 работают в комплекте с одним или несколькими термоэлектрическими преобразователями стандартных градуировок. Многоканальные приборы рассчитаны на работу с преобразователями одной градуировки с одинаковыми пределами измерений. Показания отсчитываются при помощи указателя по шкале и записываются на диаграммной ленте. В нашем случае при проведении экспериментов в приборе применялась наименованная диаграммная лента с равномерной сеткой, поэтому для считывания записанного температурного поля пользовались шкалой прибора. Для регистрации применялись двенадцатиканальные приборы с термоэлектрическими преобразователями ТХК.

В целях помехозащиты измерительной цепи потенциометра включен двойной Т-образный фильтр.

Для регистрации давления в пресс-форме используется самопишущий прибор типа МТС-1 с пределом измерения 0 – 16 кг/см² и скоростью движения диаграммы 15 угловых градусов за час.

В качестве датчиков температуры использовались термопары типа ХК₆₈. Число контролируемых точек в пресс-форме – 10, а в препарированном изделии – 12.

Методика и результаты эксперимента

Наборы листов из композиционного материала собираются в пакеты и, предварительно опресованные, укладываются при открытой верхней плите в нижний ручей совместно с резиновой пресс-камерой (технологическим мешком). Затем закрывают при помощи спецключей верхнюю плиту, совмещая плоскость разъема нижней плиты с верхней. Верхняя плита крепится при помощи болтов и затягивается гайками до зазора по плоскости разъема не более 0,3 мм.

С концевого сечения резиновая пресс-камера вытягивается дальше торца пресс-формы и глушится специальным пяточком. На торце конькового сечения пресс-формы вставляется торцевой фланец и затягивается гайками. К торцевому фланцу подходит система, обеспечивающая давление внутри канала пресс-камеры, и в свою очередь формирует внутренний канал изделия.

После выполнения операций закладки пакетов изделия в пресс-форму и подготовки к работе, пресс-форма включается на обогрев, выводится на заданный температурный режим, параллельно включается система, обеспечивающая давление в резиновой пресс-камере. Нагружение пресс-камеры сжатым воздухом производится плавно. После завершения прессования (полимеризации) изделия пресс-форма раскрывается при помощи спецключей. Предварительно перед раскрытием обязательно сбрасывается давление с пресс-камеры через клапан.

При проведении экспериментов в установке использовались два типа выпрямительных устройств: ВАК-3200/48УЧ и ТЕ800/48УЧ. На одну пресс-форму использовался один выпрямитель ВАК-3200/48 или два выпрямителя типа ТЕ-800/48, что дало возможность отдельной регулировки верхнего и нижнего нагревательного элемента. Основные технические характеристики выпрямителя ВАК-3200/48: напряжение сети – 380 В, число фаз – 3 с нулем, номинальное значение потребляемой мощности – 3200 А, номинальное выпрямленное напряжение – 48 В, диапазон ручного регулирования выпрямленного напряжения 0 – 49,2 В.

С целью изучения влияния на качество изготовления изделия параметров режима и внешних воздействий и определения возможности их автоматизации сняты характеристики процесса полимеризации изделия из композиционного материала, а также определены статические, динамические, тепловые и энергетические характеристики пресс-формы.

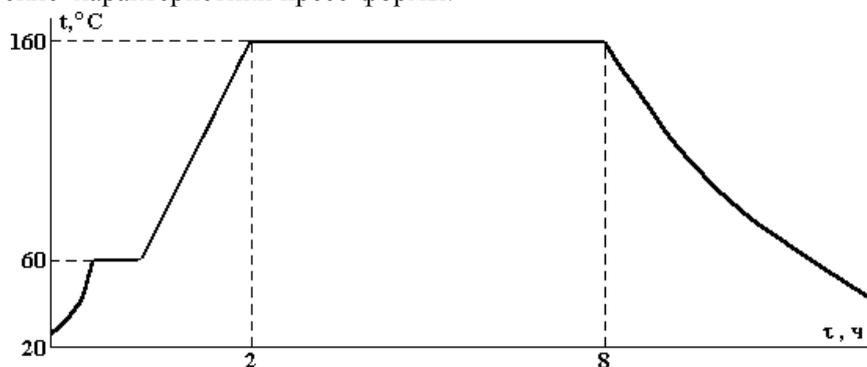


Рис. 3. Экспериментальная циклограмма процесса полимеризации

Снятие характеристик проводилось в трех вариантах: в пустой пресс-форме – с контролем температуры в теле пресс-формы; при закладке препариованного изделия без давления – с контролем температуры в теле пресс-формы и изделия и при закладке изделия с подачей давления в камеру прессования – с контролем температуры в теле пресс-формы и изделия. В первом и третьем случаях контроль температуры производится в 10 точках, во втором случае – по 22 точкам. Кроме того, проводилось снятие характеристик пресс-форм при реакции на единичное воздействие определенной мощности, распределение температуры по длине пресс-формы без внешних воздействий со стороны оператора.

Снятие характеристик проводилось в автоматическом режиме и позволило проследить реакцию пресс-форм при отработке переходных процессов.

Минимальная мощность силового агрегата для обеспечения требуемой скорости нагрева составила для пресс-формы 500 – 70 кВт, мощность для поддержания режима – 20–35%.

Мощность, необходимая для поддержания температурного режима, сильно зависит от степени теплоизоляции пресс-формы, температуры окружающего воздуха и скорости движения воздуха. Распределение температуры по длине пресс-формы зависит не только от этих параметров, но и от положения нагревательных элементов, их изоляции и точности геометрической формы.

На рис. 3 показана циклограмма процесса полимеризации композиционного материала. Здесь можно выделить три этапа технологии изготовления композиционного материала. Первый этап заключается в нагреве материала до температуры полимеризации (приблизительно до 165°C), который длится около двух часов. Имеющееся на рисунке первое плато обусловлено также фазовыми переходами (размягчение, уплотнение полимеризующейся массы, удаление воздушных пузырей и излишней влаги). На следующем этапе в течение шести часов происходит собственно полимеризация материала. Последний этап соответствует охлаждению готового изделия.

Поступила 09.01.03

Summary

The paper describes an experimental installation, which enables one to automatically conduct polymerization of multi-layer structures made of composite materials in an electric field. The authors present the technique and results of experimental examinations of temperature versus time changes in the material.