

УДК 678.01:620.179

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ РЕЖИМАМИ ФОРМОВАНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ВЫКЛЕЕЧНЫХ ОСНАСТКАХ И В МНОГОСЕКЦИОННЫХ ПЕЧАХ

© 2014 О.Л. Бурхан

Ульяновский научно-технологический центр ВИАМ

Поступила в редакцию 02.11.2014

Изложены основные принципы построения многоканальных автоматизированных систем управления режимами формования крупногабаритных конструкций из полимерных композиционных материалов на обогреваемых выклеечных оснастках, приводится пример применения многоканальных систем для многосекционных печей, показано преимущество многоканальных систем управления для нагрева в многосекционных печах.

Ключевые слова: полимерный композиционный материал, крупногабаритная конструкция, многоканальная автоматизированная система управления, температурное поле, многосекционная печь

Повышение требований к качеству конструкций [1-3] из полимерных композиционных материалов (ПКМ), увеличение их производства должно быть тесно связано со снижением энергозатрат и повышением точности параметров технологических процессов (ТП) при изготовлении конструктивных элементов из ПКМ различного назначения [4-6]. При этом, прежде всего, становится актуальной автоматизация ТП. Применение многоканальных автоматизированных систем для термического формования при изготовлении конструктивных элементов из ПКМ является значительным шагом вперёд по сравнению с применением одноканальных систем того же назначения. Как уже отмечалось [7-10], многоканальные системы с независимыми температурными и вакуумными каналами позволяют управлять нагревом и вакуумом нескольких обогреваемых выклеечных оснасток со встроенными нагревателями одновременно (рис. 1) или же производить позонный нагрев одной или нескольких обогреваемых оснасток, что даёт возможность выравнивать температурные поля по поверхности оснасток и при этом значительно снижать энергопотребление при формовании крупногабаритных конструктивных элементов из ПКМ.

Управление динамическими параметрами температурных полей и вакуума на обогреваемых оснастках (ОО) при формовании изделий из ПКМ представляет значительный практический интерес, прежде всего, для прогнозирования и управления качеством конструкций при формовании, повышение выхода годных изделий, что особенно важно при удорожании стоимости исходных

материалов [11-17]. При этом возникает необходимость повышения точности измерения температуры и вакуума [4, 10, 12, 13].

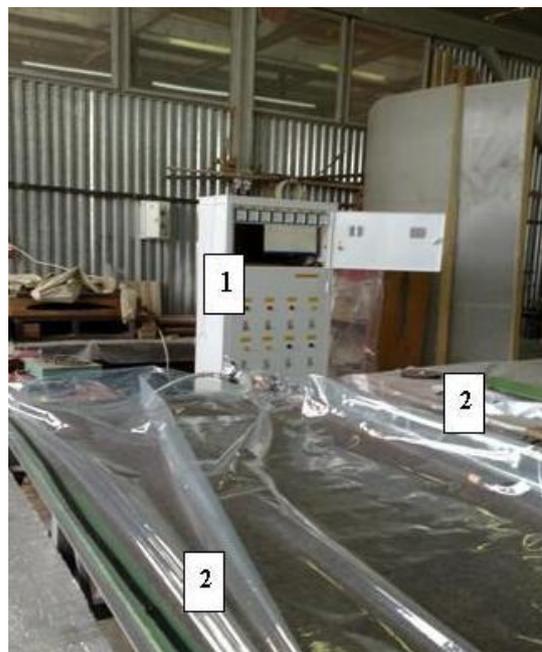


Рис. 1. Восемьканальная система управления нагревом нескольких обогреваемых выклеечных оснасток одновременно:

1 – шкаф системы управления; 2 – обогреваемые выклеечные оснастки крыла самолёта

Первостепенное значение приобретает ведение непрерывного контроля степени отверждения ПКМ формируемых конструкций, особенно на стадии отработки технологии формования с применением новых связующих и проведение оперативных

Бурхан Олег Леонидович, начальник сектора. E-mail: untcviam@gmail.com

лабораторных исследований свойств ПКМ готовых конструкций [6, 10, 13, 14]. Не менее эффективным является применения многоканальных систем управления для нагрева многосекционных печей для формования крупногабаритных конструкций из ПКМ (рис. 2). Здесь также появляется возможность, как управления температурой и вакуумом в отдельной изолированной секции печи, так и возможность позонного нагрева при объединении секций. Во втором случае выравнивается температура во всём объёме печи и достигается регламентированный градиент температур $\pm 5^\circ\text{C}$ как по поверхности так и по толщине материала формируемой конструкции.

Структурная схема одного из вариантов многоканальной автоматизированной системы управления (МАСУ) совместно со средствами формования конструктивных элементов из ПКМ для ОО или многосекционных печей приведена на рис. 3.



Рис. 2. Восьмиканальная система управления нагревом в печах:
1 – печь с позонным нагревом; 2 – шкаф управления МАСУ; 3 – шкаф силового электропитания МАСУ



Рис. 3. Структурная схема многоканальной автоматизированной системы управления формированием конструктивных элементов из ПКМ

Наиболее надёжным и практически реализуемым является контактный метод измерения температурных полей и вакуума с помощью оптимального количества температурных датчиков (ТД) и датчиков вакуума (ДВ), размещаемых на поверхности формируемых конструкций под вакуумным мешком. Кроме этого дополнительно для контроля степени отверждения могут быть введены в систему датчики неразрушающего ультразвукового контроля [13] или измерения диэлектрических параметров ПКМ в процессе формования. Датчики сопрягаются с компьютером МАСУ через специальные средства преобразования аналоговой измерительной информации в цифровую, входящие в состав измерительно-управляющего и микропроцессорного блоков. К этим же блокам подключаются элементы управления нагревателями и вакуумными клапанами, обеспечивающими

формирование в реальном масштабе времени температурного и вакуумного полей по заданной программе.

Сложность и соответственно стоимость подобных технологических МАСУ обуславливается, как известно, количеством первичных датчиков, скоростью протекания управляемых технологических процессов и предполагаемым набором сервисных функций. В случае управления параметрами ОО небольшой площади ($\approx 1\text{m}^2$), кривизны первого порядка чаще всего достаточно установить не более трех-пяти ТД и одного ДВ. При этом датчики устанавливаются в центре ОО и по краям для измерения продольного по площади ОО градиента и под формируемой конструкцией для измерения поперечного градиента температур. Датчик ДВ располагается в дальнем от патрубка вакуумной вытяжки углу ОО для получения заданного

равномерного вакуума по всей площади изделия. Если необходимо управление режимами нагрева ОО большей площади и более высокого порядка кривизны конструкции, то в этом случае желательно применение позонного нагрева для обогреваемых изнутри ОО. Зонный нагрев с независимым управлением отдельно каждой зоной позволяет, как отмечалось выше, выравнять температурное поле и уменьшать продольный градиент температур до регламентируемого $\pm 5^\circ\text{C}$, что создает условия для формирования равномерной структуры конструкции и соответственно повышения её качества. Этому же способствует и равномерность распределения величины вакуума по всей площади формируемого изделия. Задача МАСУ сводится лишь к управлению в реальном масштабе времени температурными полями при заданной скорости нагрева и набора вакуума. Для контроля вакуума необходимо также равномерное распределение датчиков по краям вакуумного мешка на расстоянии друг от друга не более 2-2,5 м. При измерении динамического температурного поля необходимо определение оптимальной погрешности при аппроксимации функции нагрева $\psi(t)$ (рис. 4).

Следующей по значимости задачей при проектировании МАСУ является определение наибольшей скорости циклического измерения и управления нагревом и набора вакуума. Для получения требуемой скорости нагрева необходим выбор соответствующих по быстродействию электронных средств МАСУ [18], определяющихся частотой коммутации каналов и мощностью зонных нагревателей. Инерционность работы вакуумной системы зависит от скорости откачки, которая в свою очередь зависит от мощности вакуумного насоса, количества установленных под вакуумным мешком вакуумных трубок, площади сечения рас­трубов вакуумных клапанов и т.д.

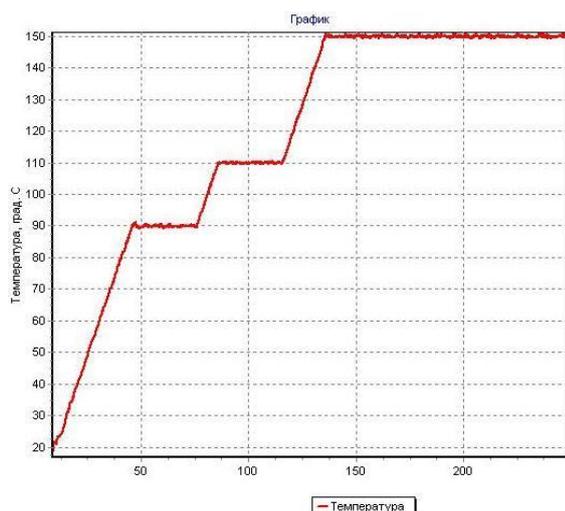


Рис. 4. График функции нагрева ОО или секций в печах при формировании конструктивных элементов из ПКМ

Далее становится возможным определение погрешности каналов управления при аппроксимации функции нагрева $\psi(t)$ в местах перелома,

задаваемого оператором графика нагрева [18], так как здесь наибольшим образом проявляется инерционность МАСУ по управлению температурой. Суммарное время таких переходных процессов составляет 10%-40% от общего времени протекания ТП. Измерительная часть системы функционирует в сканирующем режиме опроса датчиков температуры и вакуума. Выделение дискретных значений температуры по каждому каналу производится обычно через равные интервалы времени дискретизации измерения, которые определяются приближающей функцией. Если применить многочлен Лагранжа [18], можно определить интервал дискретизации для многочлена первой степени, который является критерием при выборе средств и организации программного обеспечения МАСУ по быстродействию:

$$\Delta t \leq \sqrt{|\delta| \varepsilon_{A \max}} / \varphi'' \quad (1)$$

где $|\varepsilon_{A \max}|$ - модуль максимальной относительной заданной погрешности; φ'' - вторая производная от $\psi(t)$.

При измерении динамического температурного поля погрешность канала можно представить в виде погрешностей:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_{ТД} + \varepsilon_{АПП} + \varepsilon_{А} + \varepsilon_{Н} \quad (2)$$

где $\varepsilon_{ТД}$ - относительная погрешность ТД; $\varepsilon_{АПП}$ - относительная погрешность аппаратно-программного преобразования МАСУ; $\varepsilon_{А}$ - относительная погрешность при аппроксимации функции; $\varepsilon_{Н}$ - относительная погрешность нагревателя.

Практически $\varepsilon_{ТД} + \varepsilon_{АПП} + \varepsilon_{Н} \approx 0,006$. Абсолютная погрешность по управлению не должна превышать $\pm 3^\circ\text{C}$ при $T_{\text{ово}} = 120^\circ\text{C}$. Отсюда вытекает, что

$$\varepsilon_{A \max} = \varepsilon_{\Sigma \max} + \varepsilon - (\varepsilon_{ТД} + \varepsilon_{АПП} + \varepsilon_{Н}) = 0,03$$

Процесс нагрева в точках перелома графика может быть в приближенном виде представлен логарифмической зависимостью. Передаточную функцию можно представить в виде [14]:

$$\varphi(t) = \varphi_H \ln(S_{\alpha\phi} t / MC) \quad (3)$$

где φ_H - функция температуры ОО при подходе к точке перелома графика нагрева; S - площадь единицы поверхности ОО; α_{ϕ} - коэффициент теплопередачи формы; M - масса материала формируемого изделия по площади S ; C - удельная теплоемкость материала изделия.

Вторая производная от φ по времени равна $\varphi'' = -\varphi_H (S_{\alpha\phi} t / MC)^{-2}$. Подставляя это выражение в (1), можно получить время дискретизации измерения и управления $\Delta t = 1,2-0,24$ сек. для скоростей нагрева $1^\circ\text{C}/\text{мин}-3^\circ\text{C}/\text{мин}$. и различных модификаций препрега, из которого выложено формируемая конструкция. Это позволяет выбрать

оптимально электронные средства МАСУ по критериям стоимости и быстродействию. Кроме этого, подобные автоматизированные системы, реализующие вышеуказанные функции, могут быть построены на базе типовой и не дорогостоящей электронной аналоговой [12] и компьютерной техники. В завершении реализации необходимой скорости нагрева, управления вакуумом и измерения динамических параметров ПКМ измеряемых в процессе формования определяется выбором оптимального алгоритма программного обеспечения автоматизированной системы управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Каблов, Е.Н. Стратегические направления материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №8. С. 7-17.
2. Каблов, Е.Н. Материалы для изделия «Буран» – инновационные решения формирования шестого технологического уклада // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. №S1. С. 3-9.
3. Каблов, Е.Н. Перспективы использования углеродсодержащих наночастиц в связующих для полимерных композиционных материалов / Е.Н. Каблов, С.В. Кондрашов, Г.Ю. Юрков // *Российские нанотехнологии*. 2013. Т. 8, №3-4. С. 24-42.
4. Постнов, В.И. Способы повышения точности измерительных каналов управляющей системы обогреваемых оснасток / В.И. Постнов, О.Л. Бурхан, В.И. Петухов // Сб. статей «Инновации в машиностроении». – Пенза, 2008. С. 73-76.
5. Власенко, Ф.С. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях / Ф.С. Власенко, А.Е. Раскутин // *Труды ВИАМ*. 2013. №8. Ст. 03 (viam-works.ru).
6. Бурхан, О.Л. Технологический контроль обязателен // *Индустрия*. 2010. №26-27. С. 3.
7. Постнов, В.И. Особенности управления электрическими нагрузками повышенной мощности в выключных оснастках / В.И. Постнов, О.Л. Бурхан, В.И. Петухов // В сб. статей «Проблемы машиностроения и технологии материалов на рубеже веков». – Пенза, 2008. Ч. 1. С. 206-208.
8. Бурхан, О.Л. Компьютер оптимизирует параметры // *Индустрия*. 2005. №29. С. 2.
9. Постнов, В.И. Методы повышения качества композиционных обогреваемых выключных оснасток / В.И. Постнов, О.Л. Бурхан, В.И. Петухов // В сб. статей «Инновации в машиностроении». – Пенза, 2008. С. 76-78.
10. Постнов, В.И. Автоматизированный метод измерения и управления технологическими параметрами формования изделий из ПКМ / В.И. Постнов, О.Л. Бурхан, В.И. Петухов // В сб. статей «Инновации в машиностроении». – Пенза, 2007. С. 202-204.
11. Хрульков, А.В. Исследования и разработка автоклавных и безавтоклавных технологий формования ПКМ / А.В. Хрульков, М.И. Душин, Ю.О. Попов, Д.И. Коган // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №S. С. 292-301.
12. Фрер, Ф. Введение в электронную технику регулирования / Ф. Фрер, Ф. Орттенбургер. – М.: Энергия, 1973. С. 157.
13. Никитин, К.Е. Лабораторная установка для исследования и отработки режимов формования ИПФ2003 полимерных композиционных материалов ультразвуковым методом / К.Е. Никитин, О.Л. Бурхан, В.И. Постнов, В.И. Петухов // *Заводская лаборатория*. 2008. №4. С. 38-40.
14. Деев, И.С. Исследование методом сканирующей электронной микроскопии деформации микрофазовой структуры полимерных матриц при механическом нагружении / И.С. Деев, Е.Н. Каблов, Л.П. Кобец, Л.В. Чурсова // *Труды ВИАМ*. 2014. №7. Ст.06 (viam-works.ru).
15. Михайлин, Ю.А. Конструкционные полимерные композиционные материалы. – СПб.: Изд-во НОТ, 2010. С. 822.
16. Стрельников, С.В. К вопросу о создании высокоэффективных технологий изготовления панелей интерьера в крупносерийном производстве / С.В. Стрельников, О.Б. Застрогина, Е.А. Вешкин, Н.И. Швец // *Авиационные материалы и технологии*. 2011. №4. С. 18-25.
17. Постнов, В.И. Изготовление из МПКМ конструктивных элементов планера самолета и особенности их формообразования / В.И. Постнов, В.И. Петухов, И.А. Казаков и др. // *Авиационные материалы и технологии*. 2009. №3. С. 10-19.
18. Цапенко, М.П. Измерительные информационные системы: структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование. – М.: Энергоатомиздат. 1985. С. 326.

MAIN PRINCIPLES OF CONSTRUCTION OF THE AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEMS THE TECHNOLOGICAL MODES FORMING OF BULKY DESIGNS FROM POLYMERIC COMPOSITE MATERIAL ON EQUIPMENT AND IN MULTISECTION BOARDS

© 2015 O.L. Burkhan

Ulyanovsk Science and Technology Centre of VIAM

The main principles of construction of the multiway automated management systems of modes of forming of bulky designs from polymer composite materials on heated equipments are set up, the example of application of multichannel systems for multisection boards is resulted, the advantage of multichannel systems of control to heating in multizonal boards is rotined.

Keywords: *polymeric composite material, bulky design, multiway automated management system, temperature field, board of multizonal heating*