

Е.Я. Швец, Е.Н.Киселев

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПЕЧАМИ ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ ИЗДЕЛИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Разработана автоматизированная система управления печами инфракрасной сушки, особенностями которой являются: 1) уменьшение градиента температур между изделиями, находящимися в различных кассетах; 2) обнаружение на ранней стадии отклонений в функционировании печи; 3) снижение времени на подготовку печей к работе; 4) уменьшение затрат времени на перенастройку печей для обработки различных видов изделий; 5) использование датчиков мощности ИК излучения в качестве источников информации о тепловых параметрах процесса сушки. Промышленные исследования показали, что разработанная АСУ позволит повысить качество герметизации изделий электронной техники.

Введение

Создание изделий электронной техники (ИЭТ) с размерами активных структур менее 100 нм обуславливает необходимость обеспечения стабильности тепловых процессов, относительно каждой технологической установки и всех партий изделий. Для выполнения этих условий разрабатываются и совершенствуются системы автоматизированного управления производственным оборудованием (АСУ).

Печи инфракрасной (ИК) сушки используются для обеспечения полного отверждения конструкционных материалов и удаления жидких составляющих из вспомогательных материалов ИЭТ перед их герметизацией. Для увеличения производительности конвейерных ИК печей необходимо снижать время подготовки к проведению технологической операции, а также сокращать длительность самого термического воздействия на обрабатываемые изделия.

Постановка проблемы

Для увеличения выхода годных изделий на этапе сборки ИЭТ необходимо непрерывно контролировать работу печей ИК сушки и оперативно проводить их настройку. В печах И6М3.021.005 эти функции выполняются вручную и соответственно требуют больших временных затрат. Кроме того, увеличение сложности и точности производства ИЭТ приводит к повышению сложности операций регулировки технологического оборудования. Поэтому актуальной является проблема обеспечения стабильности функционирования печей с ИК нагревом. Следовательно, для увеличения производительности и срока службы оборудования сушки ИЭТ требуется проведение мониторинга всех его составляющих. Решение такой задачи, предусматривающей получение и обработку больших массивов информации, связано с применением в АСУ новых видов датчиков и методов построения систем на их основе.

Анализ существующей системы управления печами ИК сушки

В печах ИК сушки И6М3.021.005 температура измеряется контактным способом с помощью термоэлектрических преобразователей группы ХК и подключенным к ним трехпозиционным милливольтметрам М333К, выполняющих

одновременно роль защиты от перегрева. Существующая система контроля и регулирования температуры в силу своих конструктивных особенностей и аппаратного способа реализации обладает следующими недостатками:

- температура в рабочей зоне не измеряется в процессе сушки, а лишь калибруется вручную при подготовке печи к работе;
- в зонах нагрева и охлаждения осуществляется локальный контроль температуры;
- результаты контроля температуры не влияют на движение конвейера;
- регистрация температуры производится приборами стрелочного типа, которые снижают точность измерений и исключают возможность автоматизированной обработки результатов;
- отсутствие программного и автоматического управления.

В современных печах с ИК нагревом контроль температуры осуществляется как контактными, так и бесконтактными методами. В большинстве случаев применяются термопары и терморезисторы, реже применяются пирометры – в основном в высокотемпературных печах. Т.о., традиционные методы контроля температурного режима имеют большую погрешность, а в ряде случаев необходимо контролировать температуру непосредственно нагреваемого объекта, движущегося в температурном поле печи.

Особенности построения АСУ

Для устранения вышеперечисленных недостатков была разработана АСУ печами ИК сушки, структура которой показана на рис. 1. Система собирает ин-

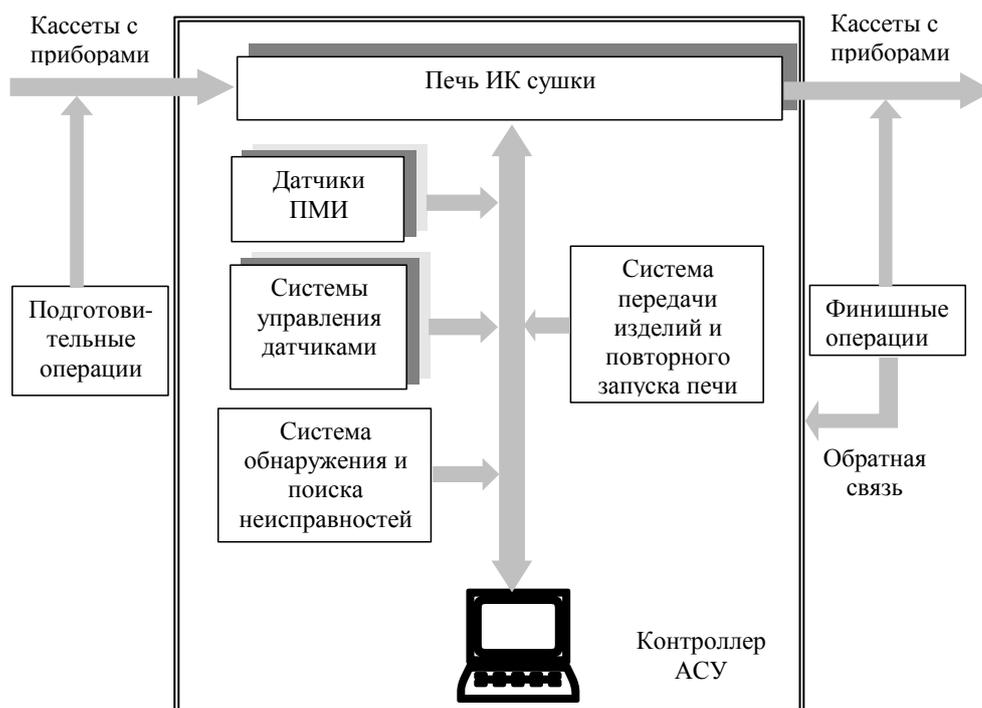


Рисунок 1 - Структура АСУ печью ИК сушки

формацию о температурных режимах зон нагрева печи и оптимизирует параметры техпроцесса на основе математического моделирования. Особенности АСУ являются:

1) Снижение различий в тепловых режимах сушки для изделий, находящихся в разных кассетах. АСУ обеспечивает непрерывность технологической операции сушки в пределах одной партии изделий, путем изменения таких параметров как температура и время нагрева. При этом система функционирует в режиме управления по каналу обратной связи, используя данные, полученные при мониторинге предыдущих технологических операций.

2) Система прогнозирования работы печи используется для обнаружения и устранения неисправностей оборудования. АСУ контролирует тепловые режимы сушки, фиксирует сбои в работе аппаратуры и отклонения от допусков по параметрам технологической операции. Кроме того, возможна выработка рекомендаций о необходимости выполнения профилактических и ремонтных работ. Обнаруженные системой сбои или отклонения протоколируются и отображаются на экране контроллера АСУ.

3) Для мониторинга состояния рабочих зон печи используются бесконтактные датчики мощности ИК излучения, адаптирующиеся к изменениям температуры.

В [1] показано, что если величина мощности ИК излучения превышает максимальное значение для датчика мощности излучения (ДМИ) при нулевом токе настройки, то выходной ток остается постоянным, т.е. не зависит от уровня мощности сигнала. Если же, мощность ИК излучения меньше некоторого порогового значения, то выходной ток также не зависит от уровня мощности сигнала. Для исключения таких ограничений, накладываемых на ДМИ, были созданы алгоритм и система адаптивного управления датчиками, представленные в [2] и включенные в разработанную АСУ. Система позволяет повысить точность измерения температуры и сопрягать датчики с контроллером АСУ.

Как показывают экспериментальные исследования, подложки ИЭТ в металлокерамических корпусах можно принимать за тонкие теплопередающие тела [3]. При условии равномерности распределения температуры по толщине изделий и вследствие малости массы растворителя, уравнение теплового баланса имеет вид:

$$-C_p \cdot m \cdot \frac{dT}{dt} = -a_t \cdot E \cdot S_0 + \varepsilon_{np} \cdot \sigma \cdot (T^4 - T_0^4) \cdot S + \alpha_k \cdot (T - T_B) \cdot S, \quad (1)$$

где a_t - интегральный коэффициент поглощения изделия; C_p - теплоемкость материала объекта; E - плотность излучения поверхности; S_0 и S - площади облучаемой и полной поверхности изделия; T_0 и T - температура окружающих поверхностей и воздуха соответственно; ε_{np} - приведенная излучательная способность облучаемого объекта и внутренних стенок камеры (с учетом загрузочных окон, отверстий для установки галогенных ламп накаливания и пр.); σ - постоянная Стефана - Больцмана; α_k - коэффициент конвективной теплоотдачи; m - масса изделия.

Произведение $\sigma \cdot T_0^4$ мало по сравнению с $\sigma \cdot T^4$, т.к. в ИК печах лучистый поток от излучателей и рефлектора обычно падает на всю поверхность прибора, кроме того температура стенок рабочей камеры в несколько раз меньше температуры изделий.

В модернизированном варианте печи использованы кварцевые галогенные лампы 1600 ТЗ/СL производства Philips. В результате сократилось время выхода источников нагрева на расчетную мощность до 0,5 с., а срок службы увеличился до 5000 ч. Кроме того, лампы 1600 ТЗ/СL генерируют поток ИК излучения однородно распределенный по длине 406 мм, что улучшает контролируемость температурного профиля печи. Т.о., возможно сделать допущение о безинерционности ламп по сравнению с инерционностью тепловых процессов нагрева изделия, а в качестве управляющего воздействия использовать мощность излучения (точнее питающее напряжение).

Т. к. площадь стенок камеры значительно превосходит площадь поверхности пластины, то выполняется условие $\varepsilon_{пр} \approx a_t$.

Линеаризованное относительно номинального режима уравнение динамики теплового процесса запишется в виде:

$$\Delta \dot{T} = a_{11} \cdot \Delta T + b_{11} \cdot \tilde{u} + c_{11} \cdot \Delta T_B, \quad (2)$$

где $\Delta T = T_{зд} - T$ - отклонение от заданного значения температуры $T_{зд}$;

$\Delta T_B = T_{исх.в} - T$ - вариации температуры воздуха (возмущение);

$$c_{11} = a_{11} = -\frac{\alpha_k}{C_p \cdot \gamma \cdot \Delta}; \quad b_{11} = -\frac{a_{тв}}{C_p \cdot \gamma \cdot \Delta}; \quad \Delta - \text{толщина изделия}; \quad \gamma - \text{плотность прибо-}$$

ра.

Предположим, что на передаточные свойства температурного сенсора накладываются шумы. Тогда

$$\dot{U} = -\frac{1}{\tau} U + \frac{\beta_c}{\tau} \cdot \Delta T, \quad (3)$$

где U - показания ДМИ; τ - постоянная времени ДМИ; β_c - коэффициент усиления.

Аппроксимируя возмущающие воздействия ΔT_B коррелированным шумом, получим:

$$\dot{T}_B = e_{11} \cdot \Delta T_B + f_{11} \cdot n, \quad (4)$$

где $e_{11} = -\frac{1}{\tau_B}$; τ_B - среднее значение постоянной времени вариации температу-

ры; f_{11} - коэффициент, зависящий от выбора интенсивности белого шума и коэффициента передачи фильтра при формировании возмущений ΔT_B с заданной спектральной плотностью; n - интенсивность белых шумов возмущений.

Обобщая (2) – (4), получим для принятых допущений модель динамики тепловых процессов в печи ИК сушки в матричной форме:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \tilde{A} \cdot x + \tilde{B} \cdot U + \tilde{F} \cdot n; \\ y &= \tilde{D} \cdot x + w, \end{aligned} \quad (5)$$

где матрицы имеют вид:

$$\begin{aligned}\tilde{A} &= \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 \\ 0 & a_{21} & 0 \\ a_{31} & 0 & a_{33} \end{bmatrix}; \\ \tilde{B} &= \begin{bmatrix} b_{11} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \\ \tilde{F} &= \begin{bmatrix} 0 \\ f_{21} \\ 0 \end{bmatrix}; \\ \tilde{D} &= [b \quad 0]\end{aligned}\tag{6}$$

$x = [x_1 x_2 x_3]^T = [\Delta T_U \Delta T_B]^T$ - вектор переменных состояния;

Для того, чтобы исключить из модели уравнения, описывающие инерционные свойства силового блока регулирования напряжения, необходимо заменить используемые в печи симисторы ТС 122-25 на аналогичные приборы с меньшими временами изменения напряжения. Т.о., в установке сушки нами использовались симисторы BTW-69-1200 [4] производства SGS Thomson.

Для распределенного контроля и управления технологическим процессом сушки ИЭТ была разработана информационная система реализованная на основе современных компьютерных и сетевых технологий. Система является динамичной, т.е. находится в состоянии постоянного развития и модернизации. Система представляет собой [5]:

- корпоративную сеть, в которую подключены компьютеры,
- к каждому компьютеру подключены ДМИ с микропроцессорным управлением и управляющие выходы,
- программное обеспечение, управляющее параметрами датчиков и выходными сигналами.

При этом каждый датчик обладает следующими характеристиками:

- IP-адресом (принадлежность к компьютеру)
- номером датчика в системе «Компьютер-Датчики»
- пределами выходных характеристик
- набором правил работы

Работа и функциональность датчика зависит от характеристик внешней среды, выраженных управляющими сигналами. В свою очередь значения управляющих сигналов зависят от показаний датчиков, т.е. тоже от характеристик внешней среды.

Программное обеспечение сети адаптивных датчиков представляет собой клиентскую и серверную части. Серверная часть опрашивает ДМИ с заданной периодичностью и сохраняет полученные показатели в памяти для дальнейшего предоставления программе-клиенту. Существует обратная связь серверной части с ДМИ, т.е. сервер не только получает показания датчиков, но и

передает им управляющие сигналы для изменения их характеристик. Клиентская часть в режиме мониторинга параметров, полученных от серверной части и в режиме управления параметрами и характеристиками датчиков, закрепленных за соответствующими серверными ПО. Т.е. пользователь по полученным показателям от сенсорных устройств может менять работу этих устройств по своему усмотрению.

Выводы

Усовершенствованная печь И6М3.021.005 обладает следующими характеристиками:

- диапазон рабочих температур $+100^{\circ}\text{C} \dots +300^{\circ}\text{C}$;
- колебания температуры $\pm 5^{\circ}\text{C}$;
- время задержки изменения температуры при автоматическом управлении 3,2 сек.;
- потребляемая мощность 4кВт;
- габаритные размеры системы автоматического регулирования:
- длина 700 мм;
- ширина 400 мм;
- высота 200 мм.

Рассмотренная АСУ является гибкой и легко адаптируемой в производстве. Применение корпоративной сети адаптивных датчиков позволяет осуществить необходимый мониторинг технологических параметров процесса сушки ИЭТ.

Промышленные исследования показали, что разработанная АСУ позволит повысить качество герметизации за счет автоматизированного контроля за параметрами сушки в печах И6М3.021.005 и снизить затраты на подготовку производства.

Система универсальна, т.е. она легко интегрируется в другие технологические процессы производства ИЭТ, обеспечивает связь между отдельными частями системы и изменяет свою работу по заданному алгоритму или по команде оператора. Достоинством системы является адаптация к внешним условиям.

Список литературы

1. Костенко В.Л., Швец Е.Я., Киселев Е.Н., Омельчук Н.А. Измерительные преобразователи на основе комбинированных твердотельных структур.- Запорожье, издательство ЗГИА, 2001. - 101с. ISBN 966-7101-36-3.
2. Костенко В.Л., Швец Е.Я., Киселев Е.Н. Автоуправляемые микроэлектронные датчики. – Технічна електродинаміка. Тематичний випуск “Проблемі сучасної електротехніки” Ч. 6. – К.: Інститут електродинаміки НАН України, 2002. - с. 118-120.
3. Пузырев В.А. Управление технологическими процессами производства микроэлектронных приборов. – М.: Радио и связь, 1984. – 160 с.
4. Standard And Snubberless TRIAC's – Italy: Milan, STMicroelectronics, 2002. – 7 с.
5. Костенко В.Л., Швец Е.Я., Максименюк А.В., Киселев Е.Н. Особенности построения корпоративных сетей интеллектуальных датчиков параметров технологических процессов / Металлургия (сб. науч. трудов) / отв. ред. Колесник Н.Ф., Колобов Г.А.. – Запорожье: ЗГИА, 2003. – в. 8. - с.146-148.