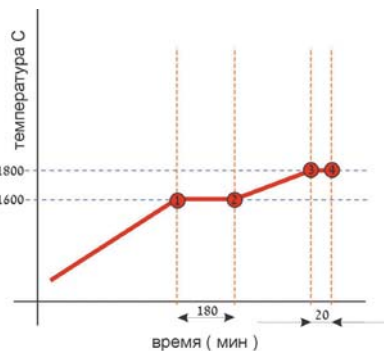




СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОТЖИГА ИЗДЕЛИЙ ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯ

Соловьев Ю.С., СП "АНАМА", г. Светловодск

Для отжига в вакууме изделий из карбида кремния на предприятии "АНАМА", г. Светловодск, была спроектирована и изготовлена вакуумная камера термического отжига (ВКТО). Процесс отжига изделий из карбида кремния происходит в несколько этапов. В открытую камеру загружаются кассеты с изделиями, камера опускается и герметизируется, включается форвакуумный насос и начинается ее вакуумирование. Идет непрерывный контроль уровня вакуума. При достижении заданного порога включается диффузионный насос, управление которым осуществляется путем контроля температуры масла внутри насоса и включением-выключением нагревателя насоса. А далее включается контактор, подающий напряжение на силовой блок и начинается нагрев камеры по заданной температурной программе.



Регулирование температуры осуществляется по ПИД-закону. По окончании отжига нагрев выключается и начинается процесс охлаждения камеры. Затем выключаются насосы и выполняется разгерметизация установки.

Установка-прототип имела только ручное управление и не обеспечивала надежное и точное проведение технологического процесса, не позволяла реагировать на аварийные ситуации и ошибки оператора. Поэтому было решено оснастить камеру отжига автоматизированной системой уп-

равления (АСУТП ВКТО), которая бы обеспечила:

- ◆ диапазон регулирования температуры 200..1800 °С;
- ◆ диапазон регулирования расхода аргона 0,5..20 л/мин;
- ◆ диапазон измерения температуры охлаждающей воды 0..100 °С;
- ◆ диапазон измерения вакуума в камере 0,001..0,1, мм рт. ст.;
- ◆ продолжительность технологического процесса 10..600 мин.

Для комплексной автоматизации только одной такой камеры, а в условиях реального производства их может потребоваться несколько, необходимо обеспечить прием следующих сигналов:

- ◆ температура от восьми термометров сопротивления типа ТСМ-50;
 - ◆ температура от трех термопар типа С;
 - ◆ напряжение на нагревателе;
 - ◆ ток нагревателя;
 - ◆ сигнал с датчика вакуума;
 - ◆ расход аргона;
 - ◆ восемь дискретных сигналов с датчиков наличия охлаждающей воды;
 - ◆ дискретный сигнал контроля закрытия камеры.
- Также необходимо формирование управляющих сигналов:
- ◆ напряжение на нагревателе;
 - ◆ скорость расхода аргона;
 - ◆ включение форвакуумного насоса;
 - ◆ включение диффузионного насоса;
 - ◆ включение контактора;
 - ◆ включение малого вакуумного клапана;
 - ◆ включение большого вакуумного клапана;
 - ◆ включение клапана "воздух";
 - ◆ включение аварийной сигнализации.

Если к перечисленному добавить необходимость гальванической развязки (как минимум групповой) аналоговых и диск-

ретных сигналов, высокий уровень электромагнитных помех, "жесткие" условия эксплуатации, инерционность технологического процесса, а также распределенный в пространстве характер системы сбора данных и управления, то получим требования к выбору технических средств. Следовало бы, конечно, упомянуть и пожелания создать систему с минимальными затратами и в кратчайшие сроки. Заказчиком являлась израильская фирма "Silbid Ltd". Уже имея неболь-



вакуумная камера термического отжига

шой опыт работы с модулями серии i-7000 производства компании ICP_DAS, Тайвань, приняли решение использовать их и на этот раз. Помехоустойчивая сеть на основе интерфейса RS-485, гальваническая развязка 3000В, диапазон рабочих температур -25..+75°C, широчайший ассортимент модулей УСО, РС-контроллеров и преобразователей интерфейсов. Оказалось, что всего шесть модулей, а именно i-7017 (2 шт.), i-7021, i-7021P, i-7041 и i-7042, решают все проблемы сопряжения с первичными преобразователями и исполнительными механизмами в системе управления одной камеры. Использование двух разных модулей ЦАП вместо одного четырехканального модуля i-7024 обусловлено необходимостью в одном аналоговом выходном канале иметь разрешение в 16 бит.

Для построения пульта управления - рабочего места оператора - были выбраны технические средства также ведущего тайваньского производителя - компании ICP Electronics Inc. Это процессорная плата Rocky-3702EV и компактная рабочая станция EC-1040 с ЖКИ-монитором 6.4" и выдвижной полноценной клавиатурой.

Важным фактором при выборе оборудования для построения системы были не только надежность или стоимость компонентов, но и наличие гарантийного и даже послегарантийного их обслуживания в Украине (авторизованный дистрибьютор - фирма "ХОЛИТ Дэйта Системс", г. Киев).

Программное обеспечение системы, разработанное в среде Borland Delphi 5, предоставляет оператору удобный графический интерфейс, широкий набор функций по настройке технологического процесса, конфигурированию сети, настройке и тестированию модулей УСО. Информация о технологическом процессе отображается на дисплее как в цифровом, так и в графическом виде.

АСУТП ВКТО работает в двух режимах: ручном и автоматическом. В ручном режиме происходит отслеживание и отображение на дисплее всех технологических параметров. А в автоматическом режиме происходит выполнение последовательности этапов процесса с полным контролем нештатных ситуаций, подачей сигналов о возникновении аварий. Технолог имеет возможность задать для каждой установки индивидуальную про-

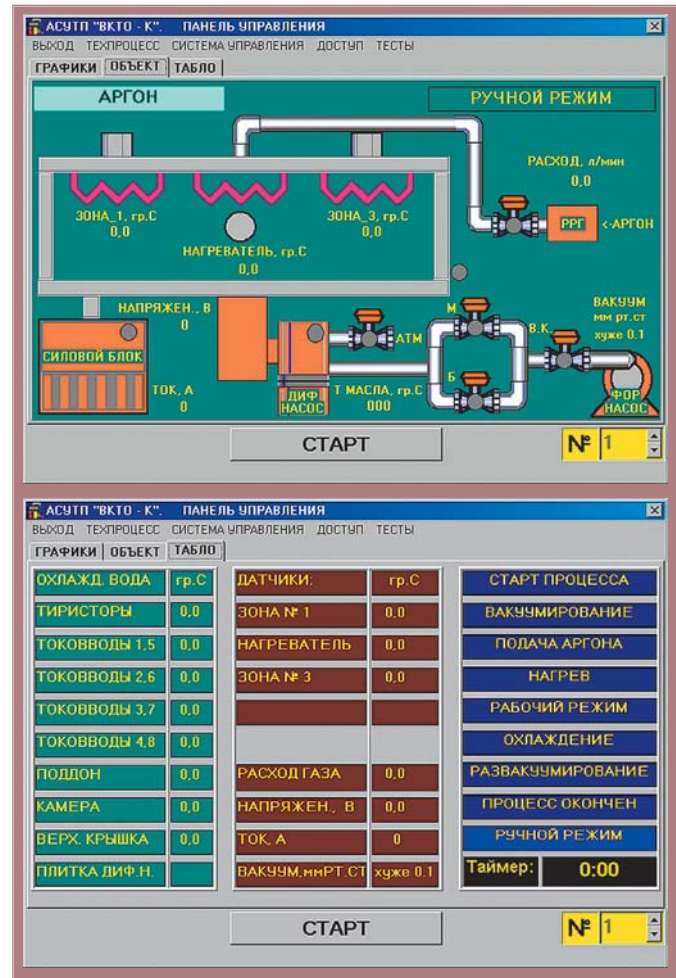
грамму изменения температуры процесса, задать пороговый уровень вакуума для включения диффузионного насоса, порог ухудшения вакуума для аварийного отключения нагревателей, предельную температуру охлаждающей воды и т. д.

К достоинствам системы следует отнести максимально высокую устойчивость к таким аварийным ситуациям, как обрыв связи с хост-компьютером, "зависание" модулей или компьютера, ошибки оператора. Это достигнуто несколькими путями. Во-первых, системой в полном объеме используются функции сторожевых таймеров модулей I-7000, отслеживающих "зависание" модуля и хост-компьютера. Во-вторых, управляющая программа активирует сторожевой таймер компьютера, что позволяет автоматически перегрузить компьютер, операционную систему и управляющую программу. И в-треть-

его процесса. После перезагрузки программа автоматически восстанавливает состояние всех узлов системы, выводит модули из "безопасного" состояния и продолжает работу.

Нужно отметить и то, что функционирование системы осуществляется в реальном времени: приложению в Windows присваивается наивысший приоритет, а в самом приложении имеется модуль, вызываемый периодически по прерыванию от таймера. Так как система имеет достаточно высокую инерционность, то оказалось достаточным установить период таймера равным 1 секунде.

Важной функцией системы управления является точное поддержание температуры в камере и ее изменение по заданной программе. Регулирование температуры в камере отжига осуществляется программно по ПИД-закону. АСУТП ВКТО обеспечивает высокую точность регулирования температуры и устой-



EC-1040

19" 4U промышленная рабочая станция
6.4" TFT LCD, 640x480, 300 кд/м²
клавиатура 88 клавиш + TouchPad
14 слотов расширения, 1x3.5" FDD, 3x5.25"

их, во время работы с заданной периодичностью выполняется сохранение на диске информации о текущем состоянии всей системы и технологичес-



чивость к помехам и благодаря работе программы в реальном времени, и реализации так называемого алгоритма ПИД-закона в приращениях с фильтрацией входного сигнала.

Для получения качественного ПИД-регулятора был применен следующий подход. Рассмотрим ПИД-уравнение:

$$CO = K_p e + K_i \int edt + K_d de/dt + bias,$$

где CO - выход регулятора, $e = SP - PV$, SP - задание (*setpoint*), PV - переменная процесса (*process variable*).

Дифференцирование обеих частей уравнения приведет к выражению:

$$dCO = K_p de + K_i e dt + K_d d(de)/dt$$

Используя вычитание для приблизительного дифференцирования, получим дискретное уравнение ПИД типа А:

$$CO(k) = CO(k-1) + K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i T e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)]/T,$$

где T - период одного цикла.

Это уравнение имеет недостаток ввиду того, что его дифференциальная часть содержит задание (*setpoint*) и изменение задания может вызвать нежелательное изменение выхода регулятора. Удалив из дифференциальной части уравнения SP , получим уравнение ПИД типа В:

$$CO(k) = CO(k-1) + K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i T e(k) + K_d [PV(k) - 2PV(k-1) + PV(k-2)]/T$$

Во многих промышленных контроллерах (например, в *Allen Bradley PLCs*) используется этот тип уравнения. Однако если удалить SP (*задание*) не только из дифференциальной, но и пропорциональной части уравнения, то получим еще более лучшее уравнение типа С:

$$CO(k) = CO(k-1) + K_p [PV(k) - PV(k-1)] + K_i T e(k) + K_d [PV(k) - 2PV(k-1) + PV(k-2)]/T$$

АСУТП ВКТО реализует все три типа закона регулирования как с фильтрацией входного сигнала, так и без нее.

Фильтрация входного сигнала необходима из-за наличия помех в системе регулирования. Если передаточная функция аналогового фильтра первого порядка имеет вид $W(s) = 1/(TF \cdot s + 1)$, где TF - постоянная времени фильтра, то уравнение эквивалентного цифрового фильтра можно записать в виде:

$$XF(n) = XF(n-1) \cdot CF + X_{in}(n) \cdot (1 - CF),$$

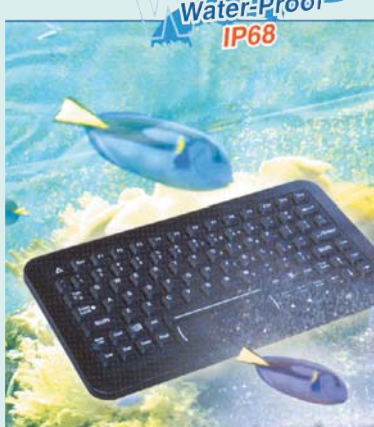
где X_{in} - входной сигнал; XF - выходной сигнал фильтра. CF - коэффициент фильтра, вычисляемый по формуле $CF = \exp(-Ts/TF)$. Вместо точной формулы расчета CF используем аппроксимацию $CF = TF/(TF + Ts)$. Тогда дискретную передаточную функцию имеет вид:

$$W(z) = XF(z)/X(z) = (1 - CF)/(1 - z^{-1}CF) = (1 - CF)z/(z - CF)$$

Хотя в системе управления реализована простейшая фильтрация, но она позволила исключить влияние помех.

АСУТП ВКТО прошла испытания в марте-апреле 2004 года. Внедрение АСУТП ВКТО позволило резко повысить объемы и качество выпускаемой продукции из карбида кремния, снизить затраты на обслуживание технологического оборудования. Существенно повысилась безопасность при проведении техпроцессов, увеличился срок службы основных узлов установки вакуумнотермического отжига. Так как система рассчитана на управление десятью установками одновременно, то это позволит в дальнейшем наращивать производство с минимальными дополнительными затратами.

СЛУЖБА НОВОСТЕЙ



Особенность
клавиатуры
KM-086

Компанией ICP Electronics, Тайвань, получен сертификат, подтверждающий спецификацию на защищенную по IP-68 клавиатуру KM-086. Посетители последних выставок по автоматизации убедились в том, что эта модель, погруженная в ванну с водой, нормально функционирует. А то, что диапазон рабочих температур KM-086 составляет -40...+70°C, является приятным дополнением. И кроме того, клавиатура работоспособна при вибрациях 1.5g в диапазоне частот 17..640 Гц и выдерживает удары 10G.

www.iei.com.tw

СЛУЖБА НОВОСТЕЙ

☎ КОНТАКТЫ:

т. (05236) 31764
e-mail: sy@vicard.net