

Специализированный контроллер для управления термической обработкой изделий с алгоритмом «разогрев-выдержка-охлаждение»

Специализированный контроллер МЕТАКОН-6305 фирмы «КонтрАвт» максимально учитывает особенности управления температурно-временными режимами при термообработке изделий по алгоритму «разогрев-выдержка-охлаждение».

Описание процессов

Среди огромного множества технологических процессов термической обработки материалов (изделий) можно выделить два, которые особенно распространены. Это процесс термической выдержки материала (изделия) при определенной температуре заданное время, а также его разновидность – процесс разогрева, выдержки и охлаждения изделия вместе с термическим оборудованием. Графики температуры, характерные для этих двух процессов, показаны на рис. 1 и 2. Термообработка в соответствии с графиком на рис. 1 часто встречается при термообработке металлических изделий в шахтных и камерных печах, при сушке материалов в камерах сушки, при обработке порошковых покрытий в камерах полимеризации, в прессах резинотехнических изделий и т.п. Ярким примером процесса по графику на рис. 2 может служить процесс термообработки металлов в вакуумных печах.

Своеобразие ситуации заключается в том, что, несмотря на очевидные особенности этих процессов, в большинстве случаев как старое, так часто и современное электротермическое оборудование содержит в своем составе системы управления, которые не учитывают эти особенности.

Рассмотрим типичную камерную печь, предназначенную для термической

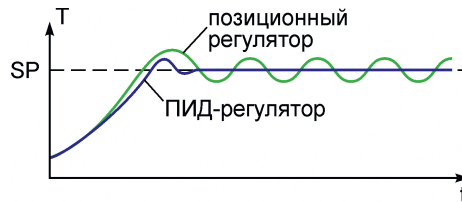


Рис. 3. График температуры позиционного и ПИД регулятора при непрерывном управлении.

обработки металлических изделий. Система управления построена на регуляторе температуры, который обеспечивает непрерывное поддержание температуры (будем далее называть его «обычным регулятором»). Графики температуры в отсутствие загрузок изделий при использовании позиционного и ПИД регуляторов показан на рис. 3. Как видим, графики после выхода на режим после разогрева представляет ровную линию (для позиционного регулятора наблюдаются колебания температуры), и регуляторы, казалось бы, выполняют свою задачу идеально. Видимо, исходя из этих соображений, производители печей и применяют подобные регуляторы.

Однако, посмотрим, как реально должен протекать процесс термической обработки в такой печи (см. рис. 4) и выделим характерные этапы.

Этап 1. Предварительный разогрев печи и выход на режим в отсутствие садки (изделий).

В принципе с этим прекрасно справляется «обычный регулятор». Однако в идеале нужен контроллер температуры, выполняющий функции таймера предварительного пуска, который позволил бы запускать процесс нагрева в нужное время до начала смены.

Этап 2. Дверь открыта, осуществляется загрузка печи.

На этом этапе открывается дверь печи. Во-первых, открытие двери печи охлаждает рабочее пространство, и температура печи не соответствует заданному температурному режиму обработки изделия. Во-вторых, охлаждение датчика температуры приведет к тому, что «обычный регулятор» температуры установит максимальную мощность нагревателей, что приведет к их перегреву, а вероятно, и к недопустимому перегреву в объеме печи после закрытия дверцы. Было бы более правильным, на время открытия дверцы фиксировать мощность нагрева на уровне, который был до открытия двери. Еще более правильным было бы поддерживать мощность на более высоком уровне (но не максимальном), чтобы частично компенсировать охлаждение печи. В этом случае, после закрытия двери, печь выходила бы на заданный уровень максимально быстро, но при этом без перегрева (как в случае «обычного регулятора»).

Однако могут быть и другие требования к управлению мощностью нагревателей во время открытия двери. В ряде случаев нагреватели выполняют в виде открытых спиралей. Тогда из соображений безопасности требуется нагреватели обесточивать.

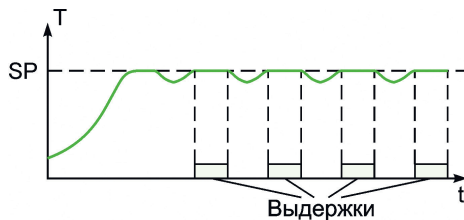


Рис. 1. График температуры непрерывного процесса при многократной загрузке

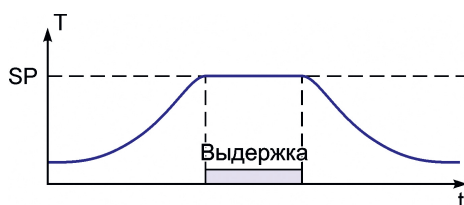


Рис. 2. График температуры конечного процесса при однократной загрузке

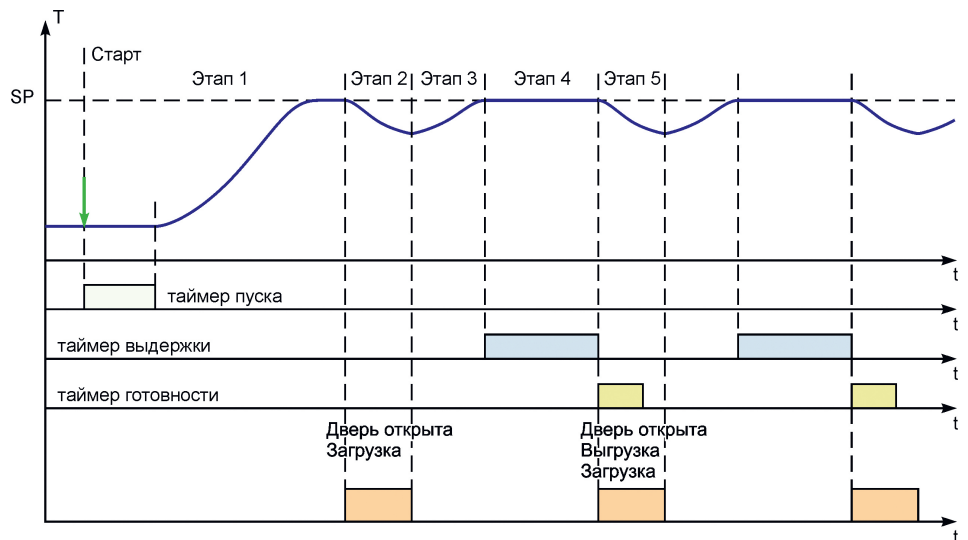


Рис. 4. Основные этапы непрерывного процесса с многократной загрузкой

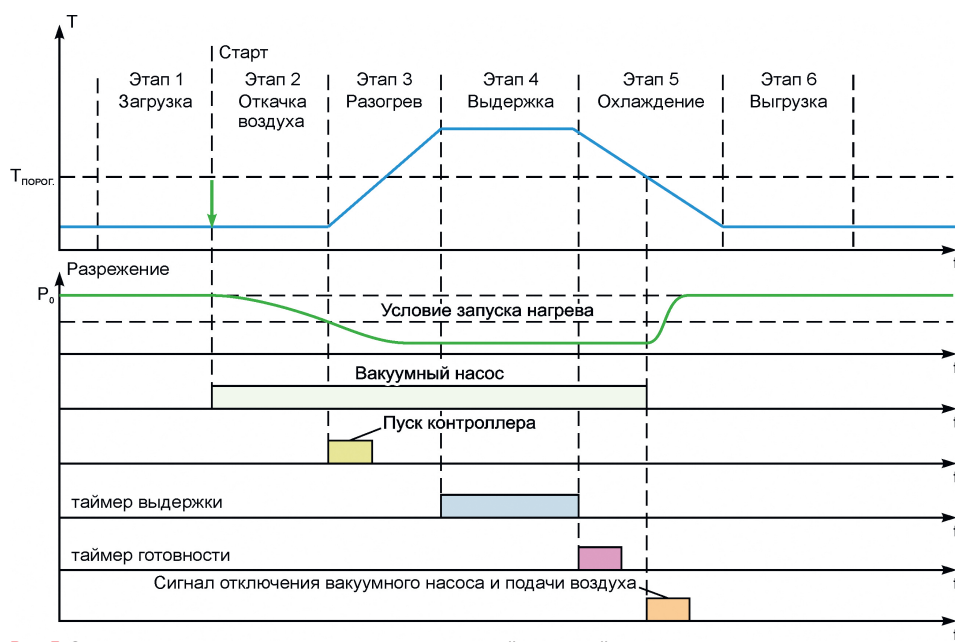


Рис. 5. Основные этапы конечного процесса с однократной загрузкой.

Итак, требуется контроллер температуры, который особенным образом управляет бы мощностью нагревателей при открытой двери. «Обычный регулятор», как правило, даже не содержит входов для фиксации таких событий.

Этап 3. Дверь закрыта, выход на температурный режим.

Несмотря на то, что изделие находится в печи, отсчет времени следует начинать только с того момента времени, когда температура выйдет на заданный уровень, точнее войдет в заданный технологический коридор. В случае «обычного регулятора» фиксируется этот момент предоставляется термисту. Таким образом, необходим контроллер, который самостоятельно без участия термиста фиксировал бы нужный момент и запускал бы таймер выдержки.

Этап 4. Это непосредственно этап термической обработки изделия в течение заданного времени выдержки.

На этом этапе в случае «обычного регулятора» термиста возлагается функция таймера. Термист должен не только фиксировать начало отсчета, но и следить за временем обработки. А таких печей у термиста может быть несколько. Какова же при этом вероятность ошибки? Все это области влияния пресловутого «человеческого фактора» на качество технологического процесса.

Конечно же, отсчет времени должен взять на себя контроллер, а для того чтобы термист не пропустил выгрузку изделия, контроллер должен подать сигнал готовности.

Этап 5. Открытие двери, выгрузка изделия и загрузка следующего. С этого этапа цикла термообработки изделий повторяется.

Описанный процесс термообработки можно назвать непрерывным с

многократной циклической загрузкой. В отличие от него назовем процесс, показанный на рис. 5, конечным с однократной загрузкой. Есть целый ряд процессов, когда изделие загружается в охлажденную печь, и весь цикл разогрева, термообработки, а затем и охлаждения изделие проходит вместе с печью. Ярким примером здесь может служить обработка титана в вакуумной печи с последующим охлаждением. В этом случае производится загрузка изделия в охлажденную печь, затем осуществляется откачка воздуха, нагрев, выдержка и последующее охлаждение до определенного уровня, только после этого можно снять вакуум и открыть дверь. Указанные особенности процесса обусловлены тем, что титан не допускает нагрев в воздушной среде. Поэтому перед нагревом сначала создается вакуум, а на стадии охлаждения – сначала должно произойти охлаждение, а затем снимается вакуум. Для ускорения процесса охлаждения в вакуумную печь запускают азот, который забирает на себя тепло изделия и увеличивает теплопередачу. В вакууме охлаждение происходит медленно, поскольку оно происходит в основном только за счет излучения.

Рассмотрим основные этапы термообработки в этом случае.

Этап 1. Дверь открыта, загрузка изделия в охлажденную печь.

На этом этапе необходимо только обеспечить отсутствие нагрева.

Этап 2. Дверь закрыта, откачка воздуха до требуемого уровня вакуума.

Запускается вакуумный насос, который обычно работает непрерывно в течение всего цикла. Его задача поддерживать уровень разряжения на уровне не ниже допустимого. Для контроля вакуума применяется соответствующий

измеритель с сигнализацией, который и запускает контроллер температуры.

Этап 3. Стадия разогрева.

Как правило, техпроцесс предписывает разогрев с заданной контролируемой скоростью, чтобы изделие успевало равномерно прогреваться. Во-первых, это исключит коробление, а во-вторых, это обеспечить равномерную термообработку при заданной температуре по всему объему изделия.

Этап 4. Стадия выдержки (собственно термообработка)

Здесь также таймер выдержки включается автоматически в тот момент, когда температура в печи войдет в необходимый технологический интервал температур.

Этап 5. Охлаждение.

Возможны разные варианты охлаждения. Первый вариант – полное отключение и естественное охлаждение преимущественно за счет излучения. Конвекционное охлаждение и охлаждение за счет теплопередачи здесь сведено к минимуму из-за достаточно высокого разряжения.

Второй вариант – плавное охлаждение в течение определенного времени, большего, чем при естественном охлаждении. Контроллер температуры должен в этом случае плавно снижать мощность нагрева.

Подача воздуха в печь возможна только в том случае, если температура в ней опустилась ниже порогового уровня $T_{порог}$. В контроллере температуры за подачу такого сигнала разрешения (и управления) должен отвечать соответствующий компаратор.

Этап 6. Отключение печи

После охлаждения и запуска воздуха контроллер температуры должен полностью отключить нагреватели.

Специализированный контроллер температуры МЕТАКОН-6305

Итак, мы описали два характерных технологических процесса термической обработки материалов. В процессе описания мы пытались сформулировать требования к некоторому контроллеру температуры, который бы управлял температурно-временными режимами таких процессов с учетом всех упомянутых особенностей.

Примером такого контроллера температуры может служить специализированный контроллер температуры МЕТАКОН-6305, предназначенный для решения описанных задач (см. рис. 6.). Контроллер МЕТАКОН-6305 относится к разряду конфигурируемых контроллеров, выпускаемых Научно-производственной фирмой «КонтрАвт». Такие контроллеры не требуют программирования, а все выполняемые функции и требуемые параметры и характеристики задаются с помощью настройки (конфигурирования) соответствующих параметров.

Укажем некоторые функциональные возможности специализированного контроллера температуры МЕТАКОН-6305.



Рис. 6. Специализированный контроллер температуры МЕТАКОН-6305.

Алгоритм регулирования и автонастройка

Контроллер температуры МЕТАКОН-6305 предназначен для прецизионной термической обработки. Это обеспечивается как высокой точностью измерения с классом точности 0,1, так точным регулированием температуры за счет применения ПИД алгоритма управления. Функция Автонастройки облегчает настройку параметров ПИД алгоритма и позволяет получать отличные результаты даже персоналу, не имеющему специальной подготовки в области регулирования.

В контроллере формируются два вида сигналов управления: дискретный сигнал с широтноимпульсной модуляцией и аналоговый токовый.

Управление уставками и скоростями нагрева/охлаждения

Наряду с основной уставкой в регуляторе может быть задана дополнительная уставка – предуставка. Переключение с уставки на предуставку может осуществляться внешним сигналом, кнопками с панели прибора или по интерфейсу (см. рис.7). Такая возможность быстрой смены уставки «одним движением пальца» исключает хлопотный и долгий набор нового значения уставки кнопками с панели прибора.

Скоростями нагрева/охлаждения можно управлять. Это позволяет не только поддерживать температуру на заданном постоянном уровне, но управлять ею во времени по линейному закону с заданной скоростью.

Таймер пуска

Контроллер МЕТАКОН-6305 имеет Таймер пуска, который запускает нагрев через заданное время после подачи сигнала СТАРТ. Функция очень полезна, когда разогрев оборудования занимает много времени и желательно начать разогрев заранее до выхода персонала на смену.

Таймер выдержки

Таймер выдержки в контроллере МЕТАКОН-6305 может быть запущен несколькими разными способами:

- безусловный запуск – запуск без привязки к измеренной температуре;

- условный запуск – запуск после подачи внешнего сигнала при выполнении заданного условия: попадание измеренной температуры в заданный интервал около уставки;
- запуск внутренним компаратором.

Таймер готовности

По окончании термической обработки контроллер позволяет управлять некоторыми действиями. В простейшем случае требуется подать сигнал готовности. Второй пример – формирование сигнала включения на заданное время вентилятора в камере полимеризации.

Управление внешними сигналами, кнопками с панели прибора, по интерфейсу

При разработке контроллера за основу была принята следующая концепция: оперативное управление работой контроллера должно проводиться с помощью пультовых кнопок, расположенных на панели шкафа управления, либо по интерфейсу RS-485, а управление кнопками самого прибора должно быть сведено к минимуму. В контроллере предусмотрены четыре дискретных входа: СТАРТ/СТОП, ПУСК ТАЙМЕРА, ПАУЗА, ПРЕДУСТАВКА.

Ретрансляция измеренного сигнала

Если аналоговый токовый сигнал не используется для управления, то он может быть применен для ретрансляции измеренного сигнала на регистрирующие устройства.

Компараторы, отложенная и задержанная сигнализация

Контроль за протеканием процесса осуществляют компараторы-сигнализаторы. Их число в приборе может достигать четырех. Компараторы могут выполнять 16 разновидностей функций.

Сигналы компараторов могут быть использованы для сигнализации и для управления вспомогательными устройствами.

Контроль контура управления

В приборе предусмотрены различные варианты функциональной сигнализации. Например, он обнаруживает обрыв в линии связи с датчиком. Кроме того, в нем реализован алгоритм контроля обрыва контура управления (LBA). Алгоритм LBA обнаруживает любые нарушения в контуре управления. Например, перегорание ТЭНов, неисправность силовых коммутаторов, отсутствие питания в силовой сети, обрыв сигнала управления, размещение датчика температуры за пределами рабочей



Рис. 7. Управление уставками и скоростями нагрева/охлаждения.

зоны нагрева.

Заключение

В данной статье Вашему вниманию представлен специализированный контроллер, который оптимизирован для управления температурно-временными режимами в электротермическом оборудовании с реализацией алгоритма «разогрев-выдержка-охлаждение». При его разработке были максимально учтены особенности протекания технологических процессов в реальных промышленных условиях.

Контроллер оптимизирует и системное решение. Для того чтобы получить законченный шкаф для управления, например, камерой полимеризацией порошковой покраски, всего лишь потребуется:

- конструктивная оболочка – собственно сам шкаф;
- контроллер МЕТАКОН-6305;
- датчик температуры;
- силовой коммутатор – контактный пускатель или тиристорный блок;
- автомат защиты;
- пультовые кнопки и индикаторы.

И это все. При этом схемотехническое решение получается предельно простое, соответственно, и монтажные работы будут сведены к минимуму.

В дальнейшем мы планируем рассказать о применении контроллера МЕТАКОН-6305 в системах не только измерения и регулирования, но и регистрации, видеографического отображения и архивирования данных в составе Измерительно-вычислительного комплекса ИНТЕГРАФ.

А.Г. Костерин,
генеральный директор
Д.В. Громов,
главный инженер



НПФ «КонтрАвт»
г. Нижний Новгород;
тел. (831) 260-13-08;
e-mail: sales@contravt.ru
www.contravt.ru