

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

¹ - *Институт надежности машин НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

² - *Институт порошковой металлургии БГНПК ПМ, Минск, Беларусь*

Введение. В настоящее время технологии электротермического нанесения покрытий из порошковых материалов различного назначения широко используются в машиностроительном производстве [1]. С точки зрения управления производственными процессами качество изделий с покрытиями в значительной мере зависит от параметров воздействия b_i , которые задаются при помощи технологического оборудования P , при этом изменяется состояние объекта управления (OU). Под OU понимается материал покрытия, наносимый на подложку, состояние которого определяется параметрами возмущения r_i . Они могут использоваться для осуществления адаптивного управления процессом нанесения покрытий, обеспечивающего автоматическую перестройку значений b_i и автоматически определяющего время окончания процесса формирования слоя [2,3], что в конечном итоге способствует повышению качества деталей с покрытиями.

Существуют работы [4,5], в которых описываются основы адаптивного управления процессами индукционного, электроконтактного и электроимпульсного нанесения порошковых покрытий. Однако до настоящего времени нет описания конструкции, которая позволила бы создать универсальную систему, обеспечивающую реализацию адаптивного типа управления для указанных методов.

В этой связи целью настоящей работы является разработка универсальной системы адаптивного управления электротермическими процессами, которая может обеспечивать своевременное изменение параметров воздействия на объект управления и определять момент окончания процесса формирования покрытия.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: разработать обобщенную схему адаптивного управления электротермическими процессами и создать конструкцию универсальной системы, реализующую адаптивный тип управления.

1. Схема адаптивного управления. Индукционный центробежный способ нанесения покрытий основан на нагреве токами ТВЧ стальной подложки до температуры нанесения материала покрытия, на которое воздействует центробежное давление, создаваемое с помощью вращения заготовки-подложки вокруг собственной оси. Длительность процессов формирования покрытий составляет $10^1 \div 10^3$ с.

Ток индуктора и скорость вращения подложки являются параметрами воздействия, которые обозначим как b_1 и b_2 . Время их действия определяют технологический режим формирования покрытия. На практике b_1 и b_2 создаются при помощи центробежной установки и высокочастотной установки ТВЧ, которые являются технологическим оборудованием P_1 по отношению к OU . К параметрам возмущения в этом случае следует отнести усадку, температуру нагрева подложки и температуру разогрева материала покрытия, которые обозначим как $r_1 - r_3$.

Электроконтактный способ нанесения покрытий основан на прямом пропускании электрического тока через порошковый материал и подложку. Действующий ток обусловлен наличием напряжения b_3 между электродами-пуансонами сварочной машины, которые также используются для задания внешней силы давления b_4 на OU . Значения b_3 , b_4 и время их действия определяют технологические режимы электроконтактного

процесса, поэтому отнесём их к параметрам воздействия. Они устанавливаются с помощью машин контактной или шовной сварки, которые обозначим как P_2 . По времени электроконтактный способ нанесения покрытий отличается от индукционного центробежного тем, что его длительность составляет $10^{-2} \div 10^1$ с. Состояние OU в этом случае характеризуется изменением его температуры и усадкой.

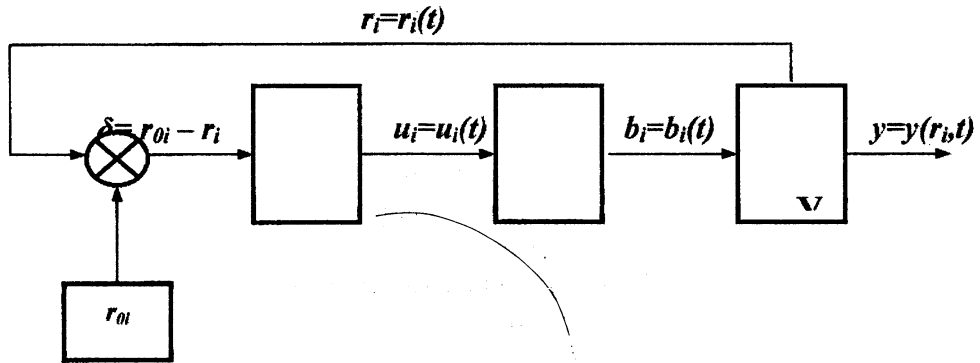


Рис. 1. Обобщенная схема адаптивного управления электротермическим процессом нанесения покрытий

Из-за свойств материала пресс-формы, который должен выдерживать боковое давление, возникающее в порошковом материале при его сжатии, на практике измерить температуру OU труднее, чем усадку. Поэтому её можно определить косвенно, по изменению электрического тока во вторичной цепи сварочной машины и температуре разогрева электродов-пуансонов. Отнесём эти физические величины и усадку порошкового материала к параметрам возмущения и обозначим их, как $r_4 - r_6$.

Электроимпульсный метод нанесения покрытий основан на прямом пропускании электрического импульса через порошковый материал, на который также воздействует внешняя сила давления, задаваемая электродами-пуансонами. Поэтому b_3 и b_4 здесь также являются параметрами воздействия на OU . В качестве источника тока в этом случае используется высоковольтная батарея конденсаторов. Благодаря пинч-эффекту, при электрическом разряде формируется радиально направленная сила, приводящая к уменьшению бокового давления на стенки пресс-формы, по сравнению с электроконтактным способом, что позволяет использовать в качестве материала для её изготовления стекло или кварц. Исходя из этого, к параметрам возмущения, которые можно измерить на практике, можно отнести температуру разогрева порошкового материала в зоне контакта r_7 и его усадку, а также изменение силы тока в замкнутом контуре.

По времени электроимпульсный способ отличается от электроконтактного тем, что имеет границы $\sim 10^{-4} \div 10^{-3}$ с. Для его осуществления используется установка электроимпульсного спекания, которую обозначим как P_3 .

Используя работы [6-8], можно составить физические модели ($M_1 - M_3$), описывающие процессы формирования покрытий с помощью выше указанных методов, которые позволяют с использованием ПЭВМ определить текущее состояние OU и рассчитать требуемые значения параметров управления u_i для P_i .

При помощи u_i , P_i формируют b_i .

Исходя из этого, электротермические процессы нанесения покрытий можно представить в виде задачи, связанной с определением способа нанесения покрытий и расчётом параметров воздействия на объект управления. Она может быть решена при помо-

ши адаптивного управления, осуществляемого по обобщенной схеме (рис.1), которая обеспечивает задание следующего алгоритма работы для технологического оборудования.

Сначала при помощи *ПЭВМ* рассчитываются конечные значения r_{0i} параметров возмущения, характеризующих состояние *ОУ* в момент образования требуемых свойств у покрытия. Затем, с помощью датчиков контроля определяются текущие параметры возмущения $r_i = r_i(t)$ и вычисляется их разность $\delta = r_{0i} - r_i(t)$. После этого при помощи выбранной физической модели M_i и *ПЭВМ* рассчитываются текущие значения параметров управления $u_i = u_i(t)$.

При помощи u_i , P_i формируют b_i и начинают процесс нанесения покрытия, который длится до тех пор, пока не выполнится условие $\delta = 0$. Для осуществления такой схемы управления на практике необходимо разработать конструкцию системы адаптивного управления, которая обеспечила бы опрос датчиков контроля, обработку поступающей с них первичной информации и расчёт текущих значений u_i . В её состав, кроме датчиков, должны входить аналоговый селектор-мультиплексор, аналоговый цифровой преобразователь, *ПЭВМ* и цифро-аналоговый преобразователь.

2. Конструкция универсальной системы адаптивного управления. С целью снижения затрат на изготовление универсальной системы адаптивного управления, её проектирование производилось с учётом принципа аутсорсинга [9-11]. Такой подход в конструировании обусловлен тремя взаимосвязанными между собой обстоятельствами:

- возросшая сложность систем требует большой концентрации программных средств на профильном направлении;
- системы, полностью разработанные самостоятельно, не способны быстро адаптироваться к производству продукции с коротким жизненным циклом;
- необходимость унификации систем.

Он позволяет решить задачу, связанную с контролем различных объектов управления, без фундаментальных аппаратных переделок. Основанная на аутсорсинге технология разработки подобных систем позволяет создавать вычислительные платформы (базовый компьютер с расширенной периферией), которые в состоянии реализовать процесс управления. Она также даёт возможность разработчику сосредоточить основные усилия на совершенствовании отличительных характеристик своего изделия. Изготовленные по такому принципу вычислительные системы получили название *PCNC* (*Personal computer numerical control*).

Для *PCNC* характерна открытая модульная архитектура, позволяющая компоновать, адаптировать и перестраивать систему на всех этапах её жизненного цикла. Концепция открытой модульной архитектуры, затребованная современным производством и поддержанная рядом международных проектов, таких, как *OSACA*, *OMAC*, *IROFA* и *OSEK*, позволила при наличии базовой архитектуры *ПЭВМ* компоновать системы контроля с использованием модулей независимых поставщиков. Все модули открытой системы подчиняются общим правилам, диктуемым архитектурой системы, для обеспечения взаимодействия с ядром и между модулями.

Разработанная авторами конструкция универсальной системы адаптивного управления представляет собой совокупность базовой *ПЭВМ* типа *IBM* и дополнительных модулей, за каждым из которых закреплены задачи измерения и управления исполнительными механизмами технологического оборудования. Такой выбор архитектуры обеспечивает ей достаточную для эволюционирования гибкость и структурность, которая достигается за счёт подключения дополнительных модулей.

Общий вид универсальной системы адаптивного управления электротермическими процессами нанесения покрытий представлен на рис.2.

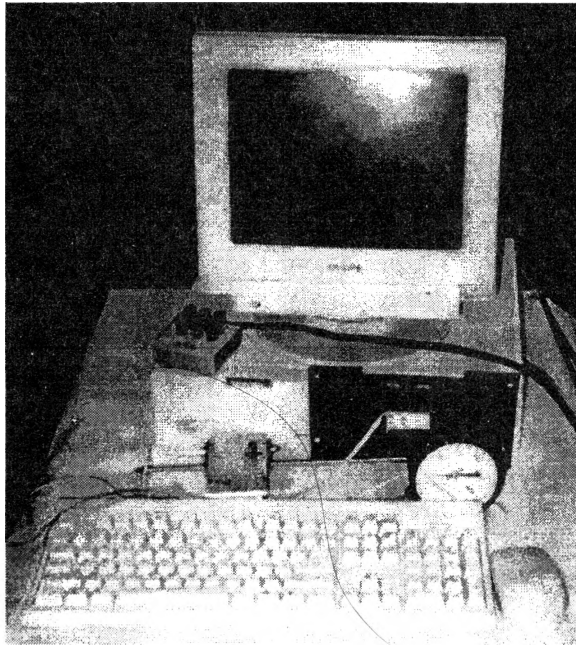


Рис. 2. Общий вид универсальной системы адаптивного управления электротермическими процессами

С её помощью был записан процесс электроконтактного спекания порошковых покрытий, где в первом случае применялся разомкнутый тип управления (рис. 3а), который широко распространён в сварочном производстве, а во втором - адаптивный тип управления (рис. 3б). Из рис.3 видно, что адаптивное управление обеспечивает окончание процесса формирования покрытия после того, как закончилась усадка порошкового материала.

Это на практике позволяет избежать перегрева материала покрытия и подложки, а также сократить время осуществления процесса. С помощью полученных экспериментальных зависимостей можно определить скорость усадки материала покрытия на любом из этапов уплотнения порошкового тела и установить поправочные коэффициенты для различных материалов, необходимые для использования уже имеющихся теоретических зависимостей.

Выводы. 1. Предложена обобщенная схема адаптивного управления электротермическими процессами нанесения покрытий, позволяющая на базе математического моделирования формализовать задачу, связанную с заданием технологических параметров.

2. На основе принципов аутсорсинга спроектирована и изготовлена универсальная система типа PCNC для адаптивного управления электротермическими процессами, позволяющая автоматизировать нанесение покрытий и тем самым повысить качество изделий машиностроения.

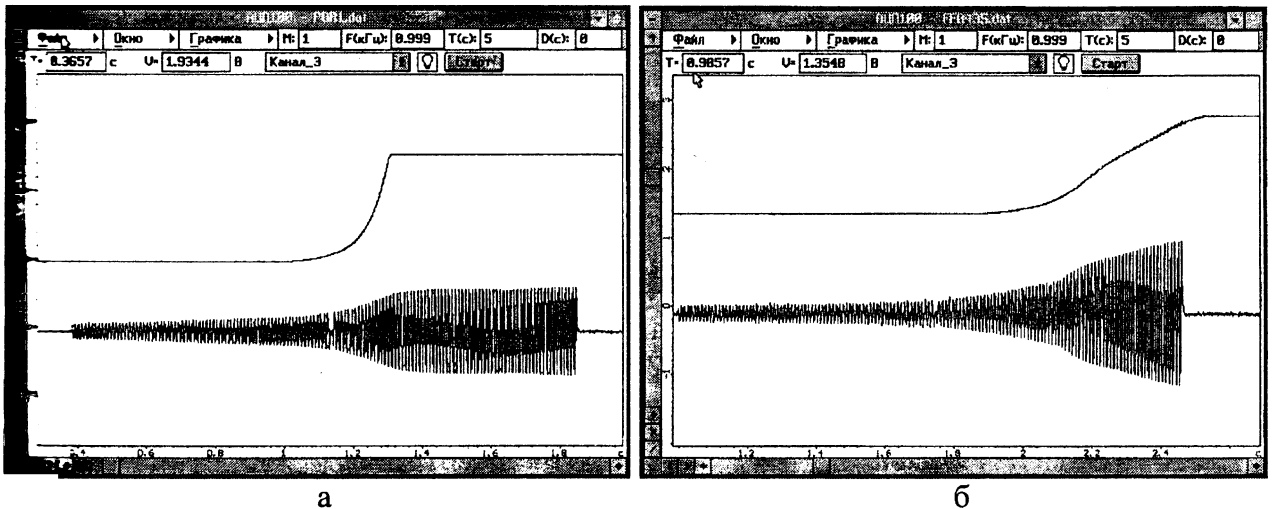


Рис. 3. Экспериментальные данные, записанные системой:
 электроконтактное спекание сферического порошка ПР-Х4Г2Р4С2Ф
 дисперсностью (-400+315) мкм на сварочной машине МТ-2201

Литература. 1. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П.А. Витязь, В.С. Ивашко, А.Ф. Ильющенко и др. – Мн.: Беларуская навука, 1998. – 583 с. 2. Худолей А.Л., Кузнечик О.О., Пресняков Г.А. Контроль и адаптивное управление в процессах электротермической наплавки покрытий. Республ. межвед. сб. науч. трудов "Сварка и родственные технологии". - Минск, 1999. - Вып.2. - С.119-123. 3. Худолей А.Л., Кузнечик О.О. Теоретические основы адаптивного управления процессами электроконтактного спекания, напекания и наплавки // Машиностроитель. – 2002, №2. – С.18-26. 4. Кашицин Л.П., Худолей А.Л., Сосновский И.А., Кузнечик О.О. Роботизированный комплекс технологического оборудования для индукционного нанесения износостойких покрытий. Материалы междунар. н.-техн. конф. «Автоматизация производственных процессов в сельском хозяйстве», Минск, 7-9 июня 2000г./ ППО «Известия». – Москва, 2000. – С.236-237. 5. Худолей А.Л., Кузнечик О.О. Автоматизация процесса индукционной наплавки. Сб. науч. трудов «Машиностроение» / Под. ред. И.П.Филонова. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – Вып.17. - С.238-242. 6. Райченко А.И. Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока. – М.: Металлургия, 1987. – 128 с. 7. Дорожкин Н.Н., Абрамович Т.М., Ярошевич В.К. Импульсные методы нанесения покрытий. – Мн.: Наука и техника, 1985. – 279 с. 8. Белявин К.Е., Мазюк В.В., Минько Д.В., Шелег В.К. Теория и практика электроимпульсного спекания пористых порошковых материалов. – Минск, 1997. – 182 с. 9. Сосокин В.Л., Мартинов Г.М. Концепция однокомпьютерной системы ЧПУ типа PCNC // Информатика-Машиностроение - 1999 - № 4 - С.7-15. 10. Мишин Г.П. Особенности проектирования современных систем ЧПУ // Информатика-Машиностроение - 1999 - №5-6 - С.51. 11. Мартинов Г.М. Виртуальные приборы диагностики в системе ЧПУ// Информатика-Машиностроение - 1998 - №4 - С.8-12.