

УДК 621. 793

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА И УСАДКИ ПОРОШКОВОГО СЛОЯ В ПРОЦЕССЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ

*И. А. СОСНОВСКИЙ, М. А. БЕЛОЦЕРКОВСКИЙ, *К. Е. БЕЛЯВИН, А. А. КУРИЛЕНКО, **О. О. КУЗНЕЧИК*

ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»

*Белорусский национальный технический университет

**ГНУ «Институт порошковой металлургии»

Минск, Беларусь

UDC 621. 793

METHODS AND MEANS OF TEMPERATURE CONTROL OF HEATING AND SHRINKAGE OF THE POWDER LAYER IN THE PROCESS OF CENTRIFUGAL INDUCTION WELDING

I. A. SOSNOVSKY, M. A. BELOTSEKOVSKY, K. E. BELYAVIN, A. A. KURILYONOK, O. O. KUZNECHIK

Аннотация

Разработан метод контроля и регулирования температуры нагрева для процесса центробежной индукционной наплавки покрытий с использованием пирометрического контроля температуры наружной поверхности заготовки и регулирования мощности нагрева. Разработан метод непрерывного контроля за уплотнением порошкового слоя, связанный с изменением его момента инерции вследствие усадки.

Ключевые слова:

центробежная индукционная наплавка, контроль и регулирование температуры нагрева, контроль усадки порошкового слоя, средства контроля.

Abstract

Developed a method for the control and regulation of heating temperature for the process of centrifugal induction welding surfaces with the use of pyrometric temperature control of the outer surface of the workpiece and the regulation of heat output. The developed method of continuous control of compaction of the powder layer associated with the change of its moment of inertia due to shrinkage.

Key words:

centrifugal induction welding, control and regulation of heating temperature, control the shrinkage of the powder layer, means of control.

Одним из наиболее эффективных методов нанесения порошковых покрытий является метод центробежной индукционной наплавки покрытий [1–2]. Индукционным центробежным методом в настоящее время можно наносить покрытия на внутренние, наружные и торцевые поверхности.



Автоматизация процесса центробежной индукционной наплавки покрытий на внутренние поверхности цилиндрических заготовок предусматривает использование автоматического регулирования и стабилизации режимов нагрева заготовок. Стабилизация режимов нагрева необходима в первую очередь для обеспечения стабильности повторяемости качества каждой из большого числа упрочняемых деталей. Использование автоматического регулирования процесса центробежной наплавки позволяет, с одной стороны, осуществлять стабилизацию строго заданных режимов нагрева, а с другой, практически полностью исключить трудозатраты, связанные с необходимостью ручного регулирования этих режимов в течение каждого цикла нанесения покрытия.

В качестве основных технических средств для автоматизации процесса центробежной наплавки использованы серийно выпускаемые Каменец-Подольским приборостроительным заводом (Украина) прибор контроля измеряемой в процессе нагрева заготовок температуры (оптический пирометр излучения АПИР-С), а также нестандартная аппаратура (регулятор мощности генератора ТВЧ АРРИН-2М) для регулирования и стабилизации задаваемой температуры и схемы привязки к источнику нагрева и стыковки представленных выше приборов, разработанные Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси.

Постановка задачи

Разработка метода и средств регулирования и стабилизации режимов нагрева, на базе описанных выше измерительных и регулирующих приборов, связана с необходимостью в процессе нанесения покрытия осуществлять непрерывный контроль и поддержание температуры нагрева заготовки на заданном уровне. Повышенные требования к точности задания температуры наплавки и стабилизации ее на заданном уровне обусловлены тем, что применяемые для упрочнения деталей износостойкие хромоникелевые сплавы типа ПГ-СР2; ПГ-СР3; ПГ-СР4 или на основе железа – ПР-Х4Г2Р4С2Ф очень чувствительные к перегреву, который существенно ухудшает их свойства после формирования из них покрытия.

Кроме того ставилась задача разработки метода, обеспечивающего непрерывный контроль процесса уплотнения (усадки) порошкового слоя, для повышения качества получаемых биметаллических изделий и увеличения производительности процесса центробежной индукционной наплавки.

Система автоматического регулирования режимов нагрева позволяет при заданных температурно-временных параметрах обеспечить стабилизацию процесса центробежной индукционной наплавки для широкого диапазона типоразмеров упрочняемых деталей.

На рис. 1 представлена структурная схема системы автоматического регулирования режима нагрева заготовок [3].

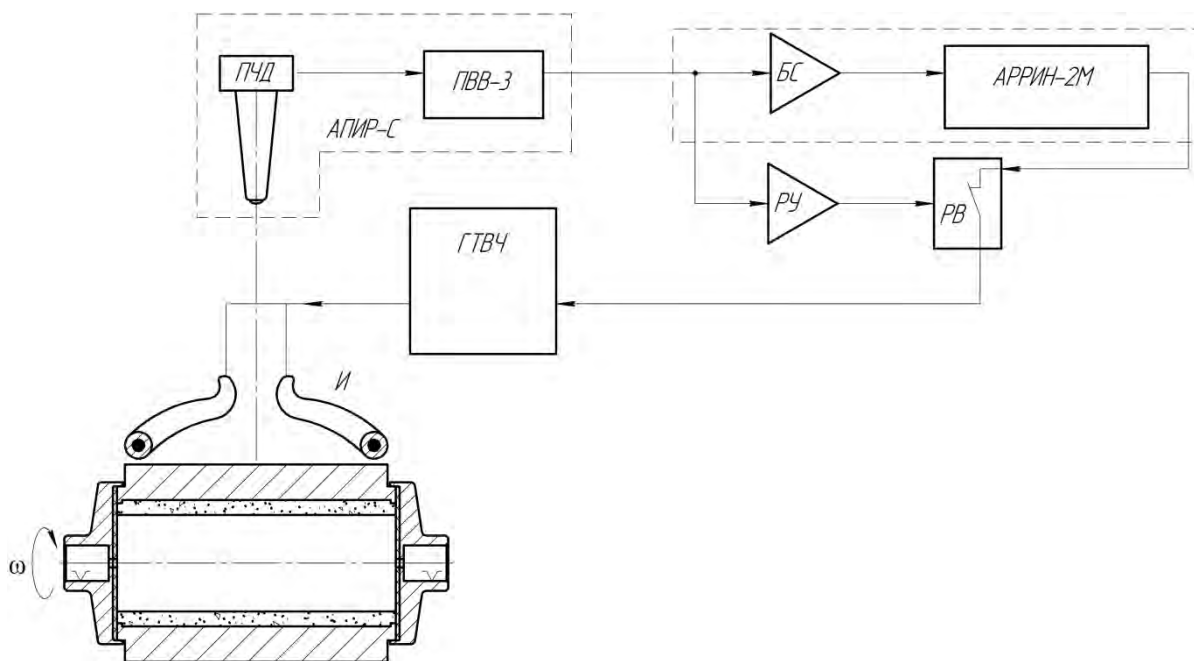


Рис. 1. Структурная схема системы автоматического регулирования режима нагрева заготовок: ПЧД и ПВВ-3 – соответственно, первичный оптический преобразователь частичного излучения и преобразователь измерительный вторичный, которые образуют комплекс АПИР-С; БС – блок согласования выходного сигнала вторичного преобразователя ПВВ-3 АПИР-С с входным сигналом АРРИН-2М; АРРИН-2М – регулятор мощности генератора ТВЧ; РУ – реле уровня выходного сигнала вторичного преобразователя АПИР-С; РВ – реле времени; ГТВЧ – генератор токов высокой частоты; И – индуктор

Работа системы автоматического регулирования заключается в следующем. Нагрев упрочняемой заготовки производится после подачи от регулятора мощности АРРИН-2М на сетки тиратронов ГТВЧ управляющего напряжения, что вызывает протекание через индуктор И токов высокой частоты. Протекание тока в индукторе создает индуцирование его в заготовке и ее разогрев. В результате нагрева происходит изменение спектра волн светового излучения наружной поверхности заготовки, которое улавливается оптическим датчиком частичного излучения ПЧД, преобразующего интегральный световой поток в электрический сигнал. Электрический сигнал, соответствующий температуре нагретой заготовки, усиливается и линеаризуется вторичным измерительным преобразователем ПВВ-3, с выхода которого снимают напряжение от 0 до 10 В, пропорциональное изменению температуры от 600 до 1300 °С. Выходное напряжение ПВВ-3 подается на вход АРРИН-2М через блок согласования БС.

Блок согласования БС представляет собой преобразователь выходного напряжения ПВВ-3 в изменяемое по линейному закону электрическое сопротивление, регулирующее входной ток АРРИН-2М пропорционально изменению измеряемой температуры.

Поступающий на вход АРРИН-2М через БС электрический сигнал усиливается и управляет работой выходного тиристорного ключа АРРИН-2М, регулирующего уровень управляющего напряжения тиратронов ГТВЧ.

Принцип регулирования подаваемой на нагреваемую заготовку мощности заключается в том, что при повышении температуры в диапазоне 600...1300 °С выходное напряжение регулятора АРРИН-2М, а следовательно, и подводимая к индуктору ГТВЧ мощность снижается.

Продолжительность изотермической выдержки устанавливается с помощью реле времени РВ, управляемого реле уровня РУ выходного сигнала ПВВ-3 АПИР-С.

Метод контроля усадки нанесения покрытия для процесса центробежной индукционной наплавки включает в состав технологической схемы (рис. 2) измеритель электрической мощности, связанный с блоком отключения источника нагрева детали [4].

Реализация метода происходит следующим образом. В процессе формирования слоя металлического порошка 1 к внутренней поверхности цилиндрической детали 2 моменты инерции составных частей системы вращения не изменяются, за исключением момента инерции порошкового слоя, который уплотняется под воздействием индукционного нагрева и центробежных сил. С учетом этого момент инерции порошкового слоя определяется выражением:

$$J = \frac{m(r_1^2 + r_2^2)}{2}, \quad (1)$$

где m – масса порошкового слоя; r_1 – внутренний радиус порошкового слоя; r_2 – радиус внутренней поверхности заготовки.

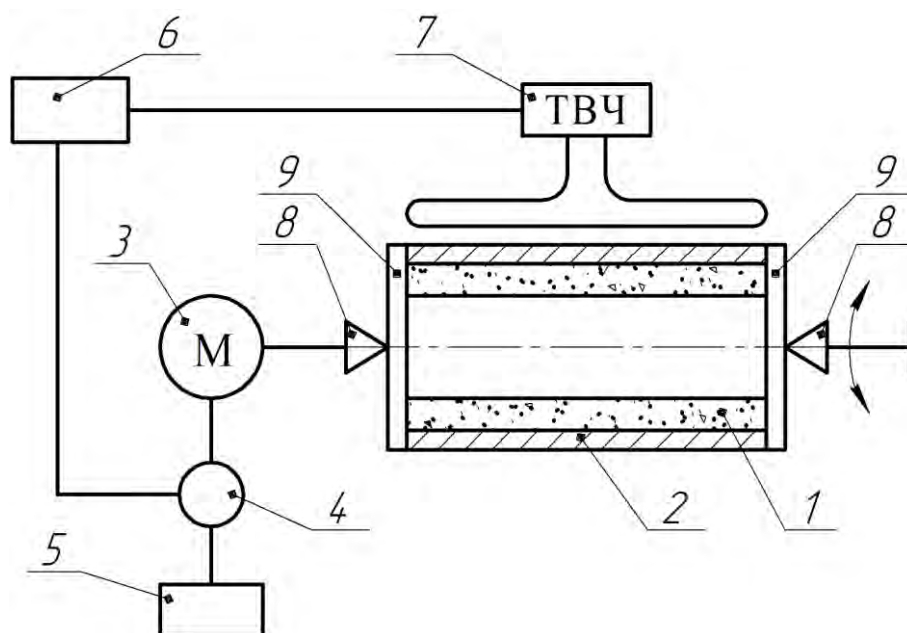


Рис. 2. Технологическая схема контроля усадки порошкового слоя в процессе его центробежного формирования

Следовательно, изменение момента инерции порошкового слоя вследствие его усадки:

$$\Delta J = \frac{m(r_{11}^2 + r_{10}^2)}{2}, \quad (2)$$

где r_{10} – начальный радиус внутренней поверхности порошкового слоя; r_{11} – радиус порошкового слоя после усадки.

Из (2) легко получить зависимость текущего радиуса порошкового слоя r_{11} от изменения его момента инерции:

$$r_{11}^2 = r_{10}^2 + \frac{m}{2} \Delta J. \quad (3)$$

Увеличение момента инерции порошкового слоя происходит в результате уплотнения порошка и увеличения внутреннего радиуса порошкового слоя r_1 . Это, в свою очередь, приводит к увеличению нагрузки на привод вращения 3 и потребляемой им электрической мощности, определяемой по формуле

$$P = IU = \eta \omega M = J \omega^3, \quad (4)$$

где ω – угловая скорость вращения детали; I – сила тока; U – напряжение; η – к.п.д.; M – крутящий момент.

Процесс уплотнения порошка контролируется путем измерения этой мощности с помощью ваттметра 4, подключенного к источнику питания 5. Используя закон сохранения массы, получим соотношение, связывающее текущую среднюю пористость Π порошкового слоя с его текущим радиусом r_{11} в виде:

$$(1 - \Pi)(r_2^2 - r_{11}^2) = (1 - \Pi_0)(r_2^2 - r_{10}^2), \quad (5)$$

или

$$\Pi = 1 - (1 - \Pi_0) \frac{r_2^2 - r_{10}^2}{r_2^2 - r_{11}^2}, \quad (6)$$

где Π_0 – начальная пористость порошкового слоя.

Таким образом, зная изменение момента инерции порошкового слоя ΔJ в процессе центробежной индукционной наплавки, можно определить изменение его внутреннего радиуса по формуле (3), а, воспользовавшись после этого формулой (6), можно определить среднюю пористость порошкового слоя. По достижению требуемой плотности порошкового слоя и его толщины, определяемой уровнем срабатывания блока отключения 6 источника нагрева 7, происходит его срабатывание, что соответствует завершению процесса нанесения покрытия. Далее отключают привод вращения,

полученную деталь извлекают из центров 8 зажимного приспособления, снимают крышки 9 и охлаждают.

Выводы

1. В результате анализа технологических особенностей процесса центробежной индукционной наплавки покрытий, на внутренние поверхности полых цилиндрических заготовок при нагреве наружным индуктором тока высокой частоты показано, что наиболее рациональным является поддержание заданной температуры наплавки порошка путем пирометрического контроля температуры наружной поверхности заготовки и регулирования мощности нагрева. Разработана система контроля и регулирования температуры при центробежной индукционной наплавке.

2. Разработан метод, позволяющий осуществлять непрерывный контроль усадки порошкового покрытия в процессе центробежной индукционной наплавки покрытий. Использование метода контроля усадки позволяет обеспечить повышение качества получаемых биметаллических изделий и производительности процесса, а также снижение припуска на механическую обработку покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сосновский, И. А.** Технология индукционного нагрева в процессах центробежного нанесения покрытий : в 2-х т. / И. А. Сосновский, К. Е. Белявин, А. Л. Худолей // Перспективные материалы и технологии / Под ред. В. В. Клубовича. – Витебск : Витеб. гос. техн. ун-т, 2015. – Т. 1., гл. 17. – С. 300–313.

2. **Белоцерковский, М. А.** Получение наноразмерных компонентов в антифрикционном покрытии при индукционной центробежной наплавке порошковых шихт на основе медных сплавов / М. А. Белоцерковский, А. А. Курилёнок, И. А. Сосновский // Инновационные технологии в машиностроении / под общ. ред. А. И. Гордиенко, В. К. Шелега. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2015. – С. 23–25.

3. **Пат. 8558 Респ. Беларусь, МПК В 22 F 7/04.** Устройство для нанесения покрытий из металлических порошков на внутренние поверхности деталей / И.А. Сосновский [и др.]; заявитель ОИМ НАНБ. – № u 20120198; заявл. 27.02.12; опубл. 30.10.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 5. – С. 192.

4. Метод контроля усадки порошкового слоя в процессе центробежного индукционного нанесения покрытий / К. Е. Белявин [и др.] // Новые материалы и технологии в машиностроении / под общ. ред. Е. А. Памфилова. – Брянск : БГИТА, 2014. – Вып. 19. – С. 23–26.