

## АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ УСАДКИ В ПРОЦЕССЕ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКИ ПОКРЫТИЙ

**Белявин К.Е.<sup>1</sup>, Белоцерковский М.А.<sup>2</sup>, Сосновский И.А.<sup>2</sup>, Курилёнок А.А.<sup>2</sup>**

1) Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь;

2) Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси

Минск, Республика Беларусь;

Одним из наиболее эффективных методов нанесения порошковых покрытий является процесс индукционной центробежной наплавки [1]. Одним из недостатков данного способа является отсутствие автоматизированного контроля над уплотнением порошка в процессе наплавки. Отсутствие контроля усадки может привести к завышению трудоемкости и затрат материалов, вследствие повышенного припуска на механическую обработку. Целью настоящей работы являлось решение данной проблемы.

Для осуществления метода непрерывного контроля усадки в состав технологической системы включен измеритель электрической мощности, связанный с блоком отключения источника нагрева наплавляемой детали.

Реализация метода происходит следующим образом (рисунок 1). В процессе наплавки 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.

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 резуль-

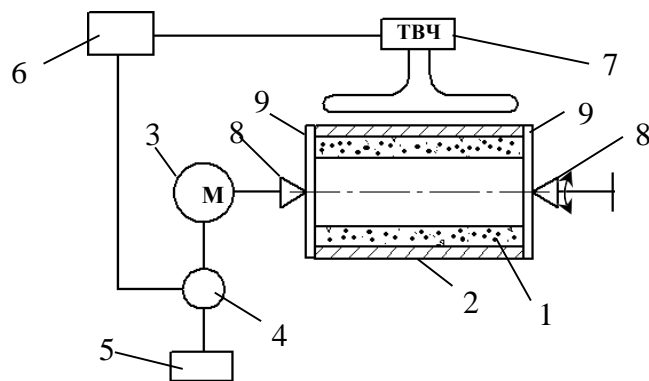


Рис. 1 – Технологическая схема определения усадки порошкового слоя в процессе его центробежной наплавки

тате 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  $\omega$  – угловая скорость вращения детали;  $I$  – сила тока;  $U$  – напряжение;  $\eta$  – 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  $\Pi$  порошкового слоя с его текущим радиусом  $r_{11}$  в виде:

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

где  $\Pi_0$  – начальная пористость порошкового слоя.

Зная изменение момента инерции порошкового слоя  $\Delta J$  в процессе центробежной индукционной наплавки, можно определить изменение его внутреннего радиуса по формуле (3), а, воспользовавшись после этого формулой (5), 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. Изготовленную деталь с наплавленным порошковым слоем извлекают из центров 8 зажимного приспособления, снимают крышки 9 и охлаждают.

1. Белявин, К.Е. Инженерные методы расчета температурно-временных параметров в процессах центробежной индукционной наплавки покрытий / К.Е. Белявин, И.А. Сосновский, А.А. Курилёнок / Перспективные материалы и технологии : монография. В 2-х т. Т. 2 / под ред. чл.-корр. В.В. Рубаника. – Витебск: УО «ВГТУ», 2019. – Гл. 1. – С. 5 – 18.