

ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ИЗ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ НАПЛАВКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ И АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ РЕЖИМОВ

¹Белявин К.Е., ²Сосновский И.А., ³Кузнецик О.О., ²Курилёнок А.А.,
³Журавский А.Н.

¹Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь, E-mail: dz-m@tut.by

²Объединенный институт машиностроения, Минск, Беларусь, E-mail: sos3@tut.by

³Институт порошковой металлургии,
г. Минск, Беларусь, E-mail: oleg-kuznechik@yandex.ru

Введение

Увеличение прочности, надежности и долговечности деталей механизмов и узлов трения, подвергающихся при эксплуатации повышенному воздействию тепловых и механических нагрузок, является актуальной проблемой современного машиностроения [1, 2]. Решение этой проблемы может основываться на расширении сферы применения на предприятиях машиностроения и ремонтного производства технологии нанесения покрытий из металломатричных композитов методом электротермической наплавки [3, 4], который включает в себя процессы как индукционной, так и электроконтактной (также известной и, как искровой плазменной) наплавки. Наиболее распространенные технологические схемы осуществления этих процессов представлены на рисунке 1.

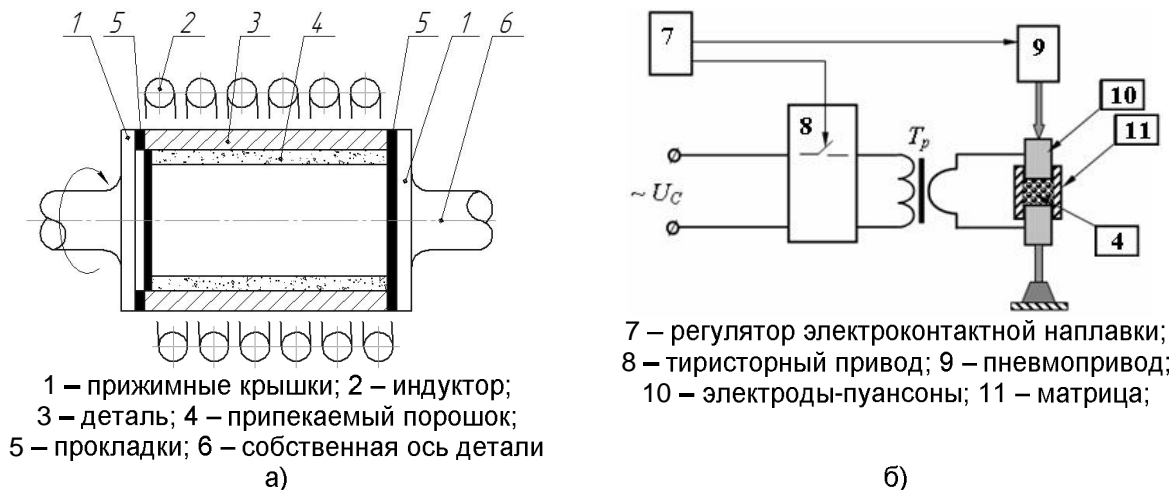


Рисунок 1 – Схемы индукционного (а) и электроконтактного (б) нагрева

Расширению сферы применения на предприятиях машиностроения и ремонтного производства технологии нанесения покрытий из металломатричных композитов методом электротермической наплавки может способствовать использование в этой технологии системы и алгоритма управления параметрической стабилизацией режимов осуществляемых согласно рисунку 1 процессов. Целью работы является решение этой задачи.

1. Технология и алгоритм нанесения металломатричных композитов электротермической наплавкой

В качестве исходного сырья, используемого для электротермической наплавки металломатричных композитов, используется шихта, количественный состав которой подбирается исходя из требуемой прочности, твердости и триботехнических свойств получаемых покрытий. При этом основу исходной шихты для наплавки металломатричных Al-SiC композитов, могут составлять порошки объединенной компанией «РУСАЛ», получаемые из сплавов алюминия, например, АСП, АСД, ПА, АПЖ и ПАВЧ, включая АПВ, а также ПАО «Запарожабразив» и ОАО «Волжский абразивный завод» марок ПА и ККЧ, содержащие карбид кремния. Основа исходной

шихты для наплавки металломатричных Cu-SiC композитов отличается тем, что вместо порошков марок АСП, АСД, ПА, АПЖ, ПАВЧ и АПВ, могут использоваться ОАО «Палема», получаемые из сплавов меди, например, Бр.О5Ц5С5, Бр.О10Ф1. Подготовка такой шихты осуществляется рассевом по фракциям, развесовой и механическим смешиванием (рис. 2).

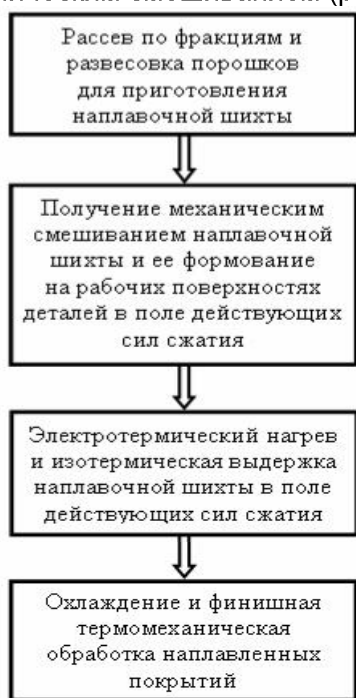


Рисунок 2 – Алгоритм выполнения электротермической наплавки

Подготовленная шихта, непосредственно перед началом процесса электротермической наплавки, подвергается формованию в поле действующих сил сжатия, формируемого различными способами [4], в том числе, с использованием центробежного вращения (рис. 1а). В ходе электротермического нагрева определенная часть шихты, состоящая из порошков металлических сплавов, испытывает, сначала, упругопластическую, а затем упруго-вязкую деформацию.

После достижения температуры плавления металлических порошков, вошедших в исходную шихту, во время изотермической выдержки, формируется жидкая фаза металлической матрицы металломатричного покрытия. После ее завершения и отключения электротермического нагрева, последовательно протекает (рис. 2) заключительная стадия рассматриваемого технологического процесса, которая включает в себя охлаждение и финишную термомеханическую обработку.

Отметим, что на стадиях упругопластической и упруго-вязкой деформации, а также изотермической выдержки на температуре наплавки наблюдается усадка шихты, которая проявляется в изменении высоты (h) ее сформованного на рабочей поверхности детали слоя.

Для обеспечения повторяемости режимов электротермического нагрева используется адаптивная система параметрической стабилизации, функциональная схема которой приведена на рисунке 3.

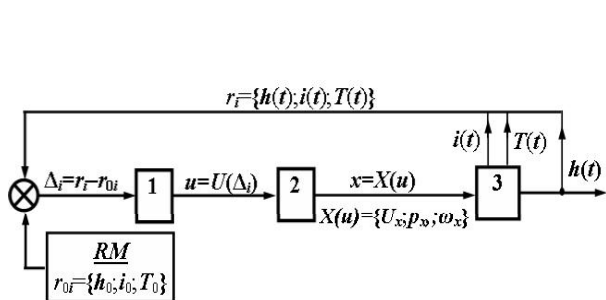


Рисунок 3 – Функциональная схема адаптивной системы параметрической стабилизации

- 1 – регулятор наплавки;
- 2 – исполнительные механизмы установки электротермического нагрева;
- 3 – объект управления (наплавочная шихта);
- RM – эталонная модель;
- $h_0, T_0, i_0, h(t), T(t), i(t)$ – требуемые и текущие значения высоты наплавляемых покрытий, температуры и силы электрического тока;
- U_x, p_x, ω_x – напряжение, давление в шихте и ее угловая скорость вращения

Представленная на рисунке 3 функциональная схема адаптивной системы параметрической стабилизации может быть реализована на основе разработанной Объединенным институтом машиностроения микропроцессорной системы контроля индукционной наплавкой и разработанной Институтом порошковой металлургии микропроцессорной системы электроконтактной наплавки.

2. Алгоритм управления параметрической стабилизацией режимов электротермической наплавки

Приведенная на рисунке 2 адаптивная система параметрической стабилизации режимов электротермической наплавки позволяет процессы нагрева и изотермической выдержки выразить с помощью описывающих алгоритм ее действия следующих функционалов:

$$Y[T(t), h(t)] \neq X[S(t)] \quad (1)$$

где $Y[T(t), h(t)]$ – функционал состояния ОУ, определяемый функциями $T(t)$ и $h(t)$, зависящими от времени, $X[S(t)]$ – функционал внешнего воздействия на ОУ, определяемый сигнальной функцией $S(t)$, задаваемой P , следующим образом

$$S(t) = P(I_0, U_0, p_0, t) \quad (2)$$

При заданной температуре (T_0) наплавляемого порошка и толщине (h_0) получаемых покрытий, используя функционал отклонения параметров

$$\Delta(t) = \Delta[\delta_1(t), \delta_2(t)] \quad (3)$$

где $\delta_1(t) = T(t) - T_0$ – параметр отклонения температуры; $\delta_2(t) = h(t) - h_0$ – параметр отклонения толщины покрытия, задача по оптимизации длительности и стабилизации режимов электротермической наплавки.

Функционалы (1)–(3) устанавливают связь между регулятором наплавки и исполнительными механизмами установки электротермического нагрева. На практике эта связь позволяет корректировать работу исполнительных механизмов таким образом, чтобы с одной стороны поддерживать заданную скорость нагрева и давление сжатия наплавочной шихты, а с другой стороны определять длительность изотермической выдержки на температуре наплавки до тех пор, пока не будут выполнены условия:

$$\delta_1(t) = T(t) - T_0 = 0 \quad \text{и} \quad \delta_2(t) = h(t) - h_0 = 0 \quad (4)$$

Представленные результаты использованы при разработки программ управления в рамках выполняемых заданий Т15 СО-055 БРФФИ и 2.3.03 ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении»

Список литературы:

1. Современная трибология: Итоги и перспективы / под ред. К.В. Фролова. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 480 с.
2. Курганова, Ю.А. Конструкционные металломатричные композиты / Ю.А. Курганова, А.Г. Колмаков. – М.: МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2015. – 141 с.
3. Белявин, К.Е. Индукционный нагрев в процессах центробежного нанесения покрытий / К.Е. Белявин, И.А. Сосновский, А.Л. Худолей. – Минск: // Вестник фонда фундаментальных исследований. - 2013. – № 3(36) – С. 70–87.
4. Белявин К.Е. Импульсные электрофизические технологии получения покрытий и модифицирования поверхности материалов / К.Е. Белявин, Д.В. Минько, О.О. Кузничик, В.В. Макеев // Металлургия. Респ. межвед. сб. науч. трудов. – Вып. 34. ч. 2. – 2013. – С. 58–71.