

УПРАВЛЕНИЕ КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКИ С ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

Л.М. КОЖУРО, д.т.н.; А.В. КРУТОВ, к.т.н. (БАТУ)

В настоящее время проблема повышения надежности и долговечности машин и механизмов приобрела исключительно важное значение, так как достигнутый уровень их не соответствует возросшим современным требованиям. Об этом свидетельствует тот факт, что удельный вес новых запасных частей за последние годы увеличился и составил более 65% от стоимости приобретаемых технических средств [1]. Очевидно, что при отсутствии запасных частей, восстановление деталей - вынужденная мера. Однако последняя ситуация - экономически целесообразна, так как восстановление и упрочнение деталей - основа ресурсо- и энергосбережения в народном хозяйстве.

Для восстановления и упрочнения деталей машин и механизмов или изготовления новых с необходимым комплексом свойств используются различные способы нанесения покрытий наплавкой, напылением, электрохимические, электронно-лучевые, лазерные, ионно-плазменные и др. Многообразие их объясняется тем, что ни один из них не может претендовать на универсальность. Это вызвано разнообразием видов изнашивания и условий работы машин и механизмов, что и обуславливает необходимость разработки новых способов нанесения покрытий и оборудования для их реализации.

Известно [2-6], что различные способы наплавки и напыления являются наиболее гибкими способами не только упрочнения рабочих поверхностей, но и восстановления и увеличения срока службы изнашивающихся деталей машин и механизмов. Вместе с тем повышенное тепловыделение при нанесении больших слоев искажает геометрию упрочняемой или восстанавливаемой детали и снижает ее ресурс. В связи с этим применение способов с минимальным необходимым нагревом и малыми величинами припусков приобретают первостепенное значение. Электромагнитная наплавка в сочетании с поверхностным пластическим деформированием (ЭМН с ППД) отвечает этим требованиям [5].

ЭМН с ППД - технологический процесс, включающий нанесение, термообработку и упрочнение покрытия, обеспечивающий повышенную износостойкость и уста-

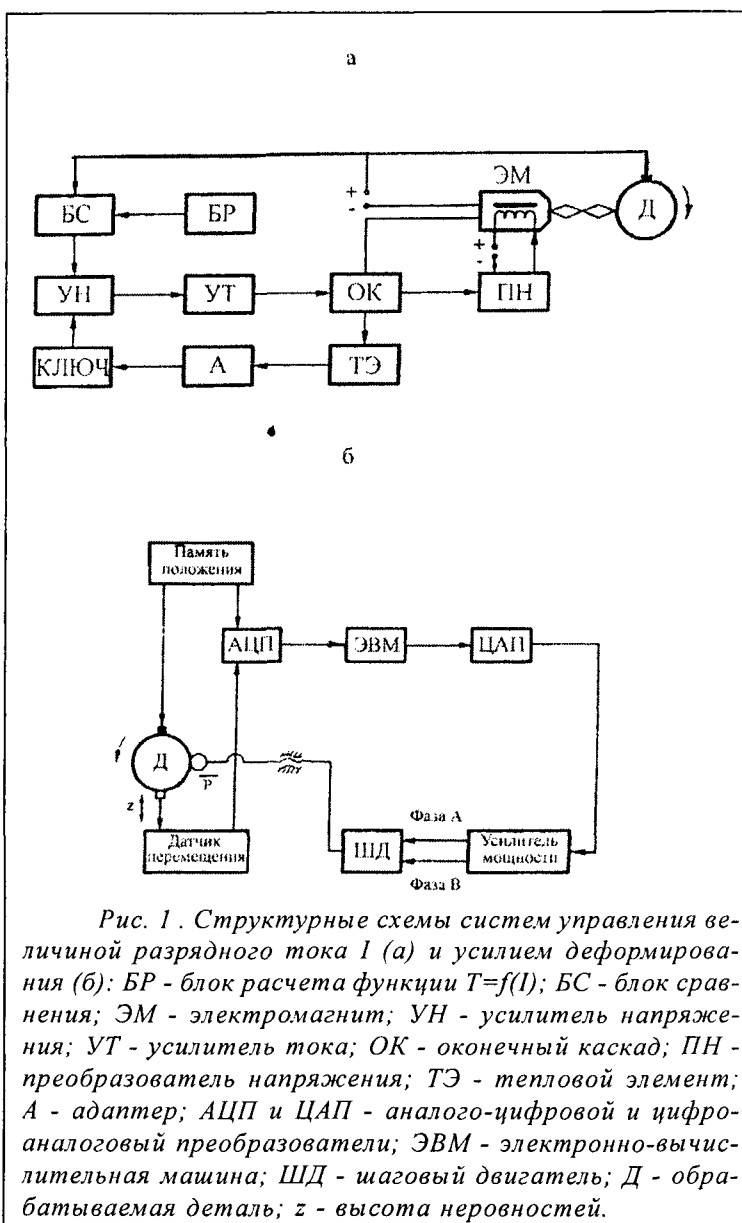


Рис. 1. Структурные схемы систем управления величиной разрядного тока I (а) и усилием деформирования (б): БР - блок расчета функции $T=f(I)$; БС - блок сравнения; ЭМ - электромагнит; УН - усилитель напряжения; УТ - усилитель тока; ОК - оконечный каскад; ПН - преобразователь напряжения; ТЭ - тепловой элемент; А - адаптер; АЦП и ЦАП - аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи; ЭВМ - электронно-вычислительная машина; ШД - шаговый двигатель; Д - обрабатываемая деталь; z - высота неровностей.

лостную прочность поверхности за счет формирования рациональных геометрических параметров и структур поверхностного слоя. Установлено [7], что при ЭМН с ППД наиболее сильное воздействие на геометрические (шероховатость поверхности Ra), физико-механические (микротвердость H_μ) и эксплуатационные (относительная износостойкость ε_0) параметры качества оказывают сила тока I электрических разрядов и сила давления P деформирующего элемента.

Термодинамические неустойчивости, возникающие при наплавке и деформировании поверхности и изменяющие структуры наплавленных слоев, их микротвердость, геометрические параметры, ликвидируются посредством регулирования и стабилизации параметров I и P .

Современным направлением повышения устойчивости технологических систем [8,9] является оснащение их средствами адаптации. Для ЭМН с ППД такое решение позволяет стабилизировать температурные и силовые параметры, т.е. осуществлять управление термическими и механическими воздействиями. В качестве управляемых технологических параметров приняты величина тока I , определяющая тепловое состояние зоны упрочнения, и усилие пластического деформирования P , определяющее напряженное состояние поверхностного слоя.

Применение для контроля силы тока измерительных систем с использованием электромагнитных датчиков затруднено тем, что неустойчивость процессов в электрической дуге создает мощные электромагнитные помехи, дополняющиеся наличием паров металла, тепловым и световым излучениями. Поэтому предлагаемая схема адаптивного управления (рис.1, а) использует принцип обработки сигнала, поступающего от электрической дуги силой тока I и напряжением U . Эти сигналы подаются на усилитель напряжения УН и усилитель тока УТ, обеспечивающие работу оконечного каскада ОК, который обрабатывает поступающие сигналы и выдает интегрированное значение тока на преобразователь напряжения ПН в обмотках электромагнитной системы устройства наплавки. ОК обеспечивает заданный уровень отдаваемой мощности, анализируя текущее состояние с предыдущим, и не реагирует на импульсный характер тока электрического разряда. Устройство оснащено системой защиты от токов короткого замыкания, включающей тепловой элемент ТЭ, адаптер А и КЛЮЧ. При коротких замыканиях продолжительностью более 0,3 с система защиты отключает внешнее магнитное поле и процесс наплавки временно прекращается.

Система с использованием параметров самой дуги выгодно отличается от всех других систем отсутствием дополнительной аппаратуры в устройстве наплавки и совмещением точки измерения непосредственно с зоной термического воздействия.

Система автоматического управления усилием дефор-

мирования P (рис.1, б) состоит из датчика положения, контроллера с аналого-цифровым (АЦП) и цифро-аналоговым (ЦАП) преобразователями, электронно-вычислительной машины ЭВМ, двухфазного усилителя мощности и шагового двигателя ШД.

При управлении производственными процессами широко используется пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования. Аналоговая форма алгоритма имеет вид

$$y(t) = Kx(t) + \frac{K}{T_1} \int_0^t x(t)dt + KT_2 \frac{dx}{dt},$$

$$x(t) = u(t) - c(t), \quad (1)$$

где $y(t)$ - управляющее воздействие, подаваемое с регулятора на объект управления; $u(t)$ - требуемый выходной сигнал объекта; $c(t)$ - действительный выходной сигнал объекта; K - коэффициент усиления; T_1 - постоянная времени интегрального регулирования; T_2 - постоянная времени дифференциального регулирования.

Используя в (1) упрощенные выражения

$$\frac{dx(t)}{dt} = \frac{(x_n - x_{n-1})}{\Delta t};$$

$$\int_0^t x(t)dt = \int_0^{t-\Delta t} x(t)dt + \left(\frac{x_n + x_{n-1}}{2}\right)\Delta t \text{ и соотношение}$$

$$\int_0^{t-\Delta t} x(t)dt = \frac{T_1}{K} [y_{n-1} - Kx_{n-1} - KT_2 \left(\frac{x_{n-1} - x_{n-2}}{\Delta t}\right)],$$

получим пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования в разностной форме

$$y = y_{n-1} + K_1 x_n - K_2 x_{n-2} + K_3 x_{n-2}, \quad (2)$$

$$\text{где } K_1 = K \left(1 + \frac{\Delta t}{2T_1} + \frac{T_2}{\Delta t}\right);$$

$$K_2 = K \left(1 - \frac{\Delta t}{2T_1} + \frac{2T_2}{\Delta t}\right); \quad K_3 = K \frac{T_2}{\Delta t}.$$

В нашем случае масштабирование входного и выходного сигналов регулятора произведено таким образом, что x_n и y_n могут принимать значения в диапазоне 0...1023. Это соответствует десятиразрядным АЦП и ЦАП, т.е. точности 0,1% от максимальной величины сигнала.

Ввод значения x_n осуществляется микропроцессором с АЦП побайтно. После ввода каждого нового значения необходимо записать его в запоминающее устройство, вычислить управляющее воздействие y_n , выдать его на ЦАП, переместить величину x_n на место x_{n-1} , а x_{n-1} -

на место x_{n-2} . Величина y_n помещается на место y_{n-1} . После этого микропроцессор готов к вводу нового значения x_n . Для вычисления U по формуле (2) разработана подпрограмма.

При вращении упрочняемой детали датчик положения, попадая на неровность, выдает аналоговый сигнал, амплитуда которого находится в пропорциональной зависимости от высоты неровности. Этот сигнал преобразуется в цифровую форму в виде разности значения текущего и предыдущего опроса и поступает в ЭВМ. Реакцией ЭВМ на входное воздействие является угол поворота вала ШД, преобразующийся через винтовую пару в линейное перемещение деформирующего элемента. При этом пропорциональная составляющая обеспечивает моментальную выборку всех люфтов и зазоров в системе привода, а интегральная - плавное изменение величины усилия поджима деформирующего элемента.

С помощью коэффициентов имеется возможность точно настраивать регулятор на текущий технологический процесс. Далее выходная величина с регулятора преобразуется в аналоговую установку тока. Усилитель тока преобразует изменение входного напряжения в силовой токовый сигнал амплитудой от 0 до 3А, достаточной для поворота вала ШД на рассчитанный угол.

Известно [8], что одним из важных показателей качества процессов формирования рабочих поверхностей трения при любых технологических схемах является стабильность, воспроизводимость неизменных эксплуатационных свойств изделий. В этой связи значительный интерес вызывает сопоставление дисперсии данных испытаний износостойкости покрытий, полученных ЭМН с ППД на установках без и с управляемой системой термодинамическими воздействиями. Испытания на износостойкость покрытий проводили на машине для испытаний материалов на трение и износ 2070 СМТ-1 по схеме «вал-колотка» линейным методом. Измерение образцов с покрытиями из порошка быстрорежущей стали Р6М5Ф3 производили оптическим длиномером ИЗВ-1 с точностью измерения 0,001 мм.

Анализ результатов испытаний износостойкости покрытий показал, что разброс экспериментальных данных не превышает 5% для ЭМН с ППД на установке с управляемой системой термодинамическими воздействиями и 16% - на установке без системы управления.

Следовательно, применение адаптивного управления величиной разрядного тока и усилием деформирования при ЭМН с ППД позволяет стабилизировать температурные и силовые воздействия и обеспечить устойчивость технологического процесса, а значит, и повышение качества деталей и машин в целом.

Одним из путей повышения эффективности машиностроения является создание гибких производственных модулей (ГПМ), реализующих технологический процесс как логически завершенную часть производственного цикла [9]. Используя описанную выше систему управления термодинамическими воздействиями при ЭМН с

ППД, созданы ГПМ для мелкосерийного и крупносерийного производств. ГПМ для ЭМН с ППД при восстановлении и упрочнении изделий используют термомеханические и электромагнитные потоки вещества и энергии, так как процессы деформирования поверхностей деталей носят в основном термомеханический характер, а электромагнитные потоки просты в управлении.

Предложенные структурные схемы ГПМ содержат все необходимые составляющие мехатронной системы: объекты управления; приводы; датчики; управляющие устройства, сопряженные между собой; систему программирования [9-11]. Следовательно, они позволяют модулям длительное время устойчиво работать в автоматическом режиме.

Для конкретных условий производства могут быть рекомендованы различные схемы компоновки блоков и узлов ГПМ, но при этом основа структурной схемы модуля сохраняется.

Литература

1. Лялякин В.П. Восстановление и упрочнение деталей на современном этапе экономических реформ / Восстановление и упрочнение деталей - современный эффективный способ повышения надежности машин. - М.: ЦРДЗ, 1997. - С.3...7.
2. Дорожкин Н.Н., Абрамович Т.М., Ярошевич В.К. Импульсные методы нанесения порошковых покрытий. - Мн.: Наука и техника, 1985. - 279 с.
3. Витязь П.А., Ивашко В.С., Манойло Е.Д. и др. Теория и практика газопламенного напыления. - Мн.: Наука і тэхніка, 1993. - 295 с.
4. Витязь П.А., Ивашко В.С., Ильюшенко А.Ф. и др. Теория и практика нанесения защитных покрытий. - Мн.: Беларуская навука, 1998. - 583 с.
5. Ящерицын П.И., Кожуро Л.М., Ракомсин А.П. и др. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле. - Мн.: ФТИ НАН Беларуси, 1998. - 416 с.
6. Kozhuro L.M., Gradaille A.D., Varguez R.P. Fundamentos de las producciones soldadas. - Ciego de Avila: ISA, 1987. - 169 p.
7. Кожуро Л. М., Чемисов Б. П. Обработка деталей машин в магнитном поле - Мн.: Наука и техника, 1995. - 232 с.
8. Хейфец М. Л., Кожуро Л. М., Мрочек Ж. А. Процессы самоорганизации при формировании поверхностей. - Гомель: ИММС НАН Беларуси, 1999. - 276 с.
9. Горанский Г.К., Губич Л. В., Махнач В. И. и др. Автоматизация проектирования технологических процессов и средств оснащения. - Мн.: ИТК НАН Беларуси, 1997. - 275 с.
10. Мехатроника /Т. Исии, И. Симояма, Х. Иноуэ и др. Под ред. В. В. Василькова.- М.: МИР, 1998.- 314 с.
11. Подураев Ю.В., Кулешов В.С. Принципы построения и современные тенденции развития мехатронных систем //Технология машиностроения. 2000. N3. С.49...53.