

УДК 621.9:621.7:658.52

Академик П. И. ЯЩЕРИЦЫН, Л. М. АКУЛОВИЧ, А. П. РАКОМСИН,
Л. М. КОЖУРО, Ж. А. МРОЧЕК

УПРАВЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ НАПЛАВКЕ С ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

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 ресурс- 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 усталостную 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_n) и эксплуатационные (относительная износостойкость ϵ_0) параметры качества оказывают сила тока I электрических разрядов и сила давления F 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 F .

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 принята величина тока I , определяющая тепловое состояние зоны упрочнения, и усилие пластического деформирования F , 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 (рисунок, а) тепловым воздействием использует в качестве датчика параметры электрической дуги, сигнал от которой поступает в блок сравнения, сравнивается с сигналом от блока расчета. Разность этих значений увеличивается усилителями УН и УТ, обрабатывается ОК и интегральное значение тока подается на 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 элемент ТЭ, А и КЛЮЧ. При коротких замыканиях продолжительностью более 0,3 с система защиты отключает внешнее магнитное поле и процесс наплавки временно прекращается.

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

Система автоматического управления усилием деформирования F (рисунок, б) состоит из датчика положения, контроллера с АЦП и ЦАП пропорционально-интегрально-дифференциальным регулятором ПИД, двухфазного усилителя мощности и ШД.

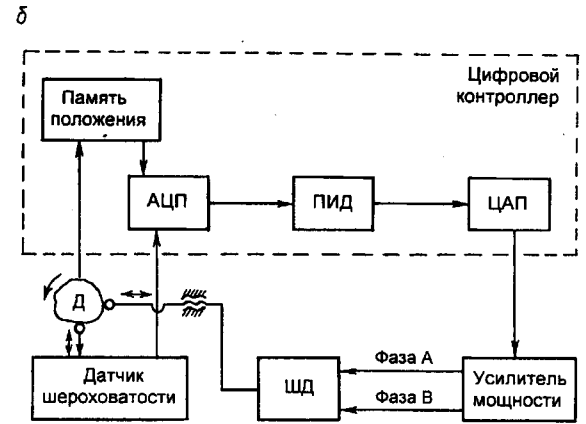
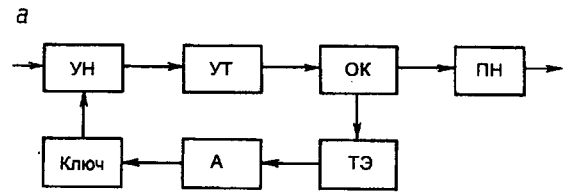
При управлении производственными процессами широко используется пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования. Аналоговая форма алгоритма имеет вид

$$y(t) = Kx(t) + \frac{K}{T_1} \int_0^t x(t)dt + KT_2 \frac{dx}{dt}, \quad x(t) = u(t) - c(t), \quad (1)$$

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

Используя в (1) упрощенные выражения $\frac{dx(t)}{dt} \approx \frac{(x_n - x_{n-1})}{\Delta t}$; $\int_0^t x(t)dt \approx \int_0^{t-\Delta t} x(t)dt + \left(\frac{x_n + x_{n-1}}{2}\right)\Delta t$ и соотношение $\int_0^{t-\Delta t} x(t)dt = \frac{T_1}{K} \left[y_{n-1} - Kx_{n-1} - KT_2 \left(\frac{x_{n-1} - x_{n-2}}{\Delta t} \right) \right]$, получаем пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования в разностной форме

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



Структурные схемы систем управления величиной разрядного тока (а) и усилием деформирования (б): 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; ПИД — регулятор; ШД — шаговый двигатель; Д — упрочняемая деталь

где $K_1 = K \left(1 + \frac{\Delta t}{2T_1} + \frac{T_2}{\Delta t} \right)$; $K_2 = K \left(1 - \frac{\Delta t}{2T_1} + \frac{2T_2}{\Delta t} \right)$; $K_3 = K \frac{T_2}{\Delta t}$.

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 y 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 ПИД-регулятор. Реакцией регулятора 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 [10], 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 — колодка» 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.

Таким образом, 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 следовательно, и повышение качества деталей и машин в целом.

Summary

It is shown that adaptive control of electromagnetic surfacing ensures stability of technological system.

Литература

1. Лялякин В. П. Восстановление и упрочнение деталей — современный эффективный способ повышения надежности машин. М., 1997.
2. Дорожкин Н. Н., Абрамович Т. М., Ярошевич В. К. Импульсные методы нанесения порошковых покрытий. Мн., 1985.
3. Витязь П. А., Ивашко В. С., Манойло Е. Д. и др. Теория и практика газопламенного напыления. Мн., 1993.
4. Ивашко В. С., Куприянов И. Л., Шевцов А. И. Электротермическая технология нанесения защитных покрытий. Мн., 1996.
5. Ящерицын П. И., Кожуро Л. М., Ракомсин А. П. и др. Технологические основы обработки изделий в магнитном поле. Мн., 1997.
6. Kozhuro L. M., Gradaille A. D., Vazquez R. P. Fundamentos de las producciones soldadas. Citgo de Avila, 1987.
7. Кожуро Л. М., Чемисов Б. П. Обработка деталей машин в магнитном поле. Мн., 1995.

8. Хейфец М. Л. // ИФЖ. 1994. Т. 67, № 1—2. С. 141—145.
9. Акулович Л. М. Термомеханическое упрочнение деталей в электромагнитном поле. Новополоцк, 1999.
10. Трение, изнашивание и смазка: Справочник / Под ред. И. В. Крагельского, В. В. Алисина. М., 1978. Т. 1.

Поступило 22.09.1999

*Физико-технический институт НАН Беларуси,
Конструкторско-технический институт
средств механизации и автоматизации,
Производственное объединение «БелавтоМАЗ»,
Белорусский государственный аграрный
технический университет,
Белорусская государственная политехническая академия*