



УДК 621.791.793

## РЕГУЛЯТОР УРОВНЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ВАННЫ ПРИ ЭШС

Ю. Н. ЛАНКИН, д-р техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Приведена структурная схема и описана система регулирования уровня металлической ванны при ЭШС с использованием индуктивного датчика с измерительным безынерционным преобразователем. Система прошла лабораторные испытания, подтвердившие ее расчетные характеристики.

*Ключевые слова:* электрошлаковая сварка, металлическая ванна, уровень ванны, автоматическое регулирование

По принятой классификации аппараты электрошлаковой сварки (ЭШС) относятся к сварочным автоматам. Однако во время сварки некоторые параметры ЭШС требуют постоянной ручной корректировки. К ним, в первую очередь, относится скорость перемещения тележки аппарата или скорость подачи электродной проволоки. Это вызвано тем, что очень трудно согласовать эти параметры таким образом, чтобы результирующая скорость перемещения поверхности сварочной ванны в точности соответствовала скорости перемещения формирующих ползунов. Даже если и удастся согласовать эти скорости, то вследствие действующих на процесс сварки возмущений равенство скоростей перемещения ползунов и поверхности сварочной ванны нарушится и потребуются ручная корректировка параметров сварки. Список возмущений довольно обширен — изменение ширины сварочного зазора вследствие неточностей сборки и сварочных деформаций, колебания напряжения сети, нестабильность прилегания ползунов и т. п. Несогласованность скорости перемещения сварочного аппарата и скорости перемещения поверхности сварочной ванны в предельных случаях может привести к проливу шлаковой ванны сверху или металлической ванны снизу формирующих ползунов. Трудности ручной корректировки скорости перемещения сварочного аппарата возрастают с увеличением скорости сварки. При скоростях сварки более 5 м/ч ручное поддержание уровня металлической ванны относительно подвижного ползуна становится практически невозможным.

Из литературных источников известно несколько систем регулирования уровня металлической ванны при ЭШС, отличающихся типами датчиков уровня и регуляторами. Предложены системы регулирования с электрическими контактными датчиками, термопарными, радиоизотопными и различными индукционными датчиками [1–

3]. Практически были реализованы системы регулирования уровня ванны с электрическим контактным датчиком и линейным регулятором [1], а также с индукционным датчиком и релейным двухпозиционным регулятором [2, 3].

В описываемой системе регулирования уровня металлической ванны (рис. 1) применен индуктивный датчик с новым измерительным преобразователем. Питание датчика осуществляется синусоидальным напряжением частотой более 10 кГц, частота пульсаций выходного напряжения измерительного преобразователя более 20 кГц. Для эффективного подавления таких пульсаций достаточно простейшего фильтра с постоянной времени более 5 мс, поэтому можно считать этот датчик с измерительным преобразователем безынерционным. В реальном рабочем диапазоне измерения линеаризованная характеристика датчика с преобразователем имеет коэффициент передачи  $K_{\text{дат}} = 0,1$  В/мм.

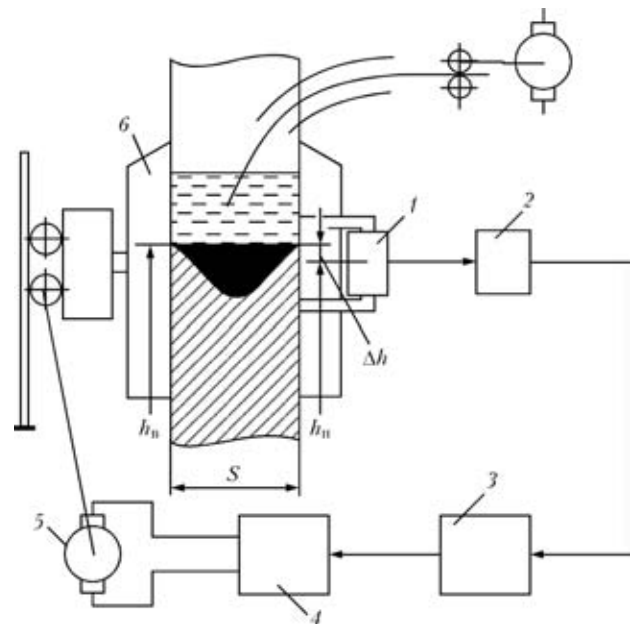


Рис. 1. Функциональная схема системы автоматической стабилизации уровня жидкой металлической ванны при ЭШС: 1 — датчик; 2 — измерительный преобразователь; 3 — регулятор; 4 — блок управления двигателем; 5 — двигатель перемещения сварочной тележки; 6 — ползун;  $h_b$  — уровень жидкой металлической ванны;  $h_n$  — положение ползуна (датчика уровня);  $\Delta h$  — ошибка регулирования уровня ванны

© Ю. Н. Ланкин, 2007

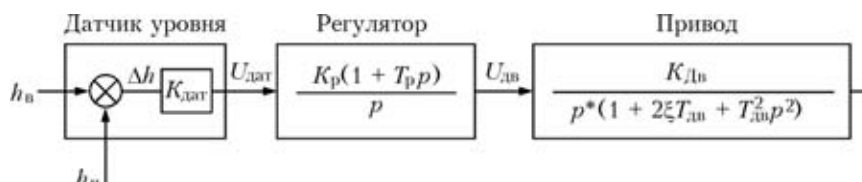


Рис. 2. Структурная схема системы регулирования

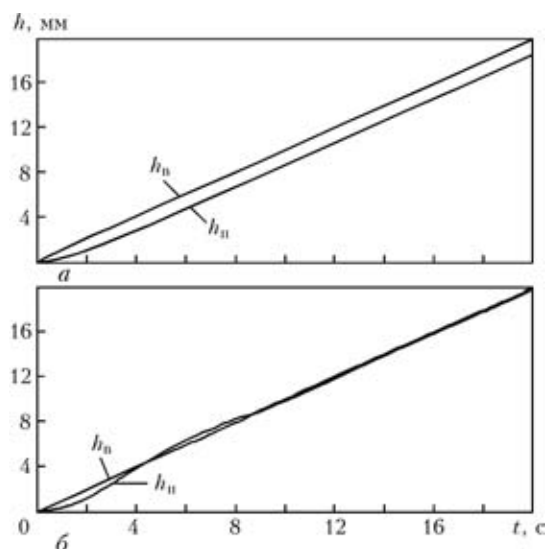


Рис. 3. Кривые слежения системой управления за изменением уровня жидкой металлической ванны: а — ПИ-регулятор ( $K_p = 10$ ); б — ПИ-регулятор ( $K_p = 10$ ,  $T_p = 10$  с)

В качестве привода перемещения тележки использовали привод, описанный в работе [4]. Анализ переходных процессов по скорости привода позволяет аппроксимировать его колебательным звеном с коэффициентом передачи  $K_{дв} = 0,5$  мм/(с·В), постоянной времени  $T_{дв} = 0,025$  с и коэффициентом затухания  $\xi = 0,35$ .

Структурная схема системы регулирования уровня приведена на рис. 2. Для общности на схеме изображен пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор. Благодаря двигателю тележки в контуре регулирования объект управления обладает астатизмом первого порядка. Таким образом, даже при применении простейшего пропорционального (П) регулятора ( $T_p = 0$ ) система обеспечивает нулевую ошибку стабилизации уровня металлической ванны и отличные динамические характеристики регулирования. Однако во время сварки из-за плавления электродов уровень ме-

таллической ванны непрерывно возрастает, т. е. система должна работать как следящая. В этом случае появляется ошибка слежения, прямо пропорциональная скорости изменения уровня металлической ванны и обратно пропорциональная коэффициенту передачи регулятора  $K_p$  (рис. 3, а). Ошибку слежения можно свести к нулю, применив ПИ-регулятор. На рис. 3, б приведены кривые слежения за уровнем ванны для ПИ-регулятора с  $K_p = 10$  и  $T_p = 10$  с. Реализация аналогового интегратора с постоянной интегрирования не менее 10 с довольно сложная задача. Гораздо проще увеличивать коэффициент передачи П-регулятора до значения, при котором ошибка слежения снижается до приемлемого уровня. Параметры системы регулирования уровня таковы, что коэффициент передачи можно увеличивать до значительного уровня без потери устойчивости системы. Как видно из рис. 3, а, при  $K_p = 10$  ошибка слежения  $\Delta h$  за ванной, перемещающейся со скоростью 1 мм/с (3,6 м/ч), составляет 1,3 мм. Увеличение  $K_p$  до 50 снижает ошибку слежения за уровнем ванны до значения 0,23 мм, что более чем достаточно для ЭШС. С увеличением коэффициента передачи П-регулятора пропорционально снижается и время отработки возмущений и управляющих воздействий.

Система регулирования уровня металлической ванны прошла лабораторные испытания, подтвердившие ее расчетные характеристики.

1. *Электрошлаковая сварка* / Под ред. Б. Е. Патона. — Киев: Машгиз, 1959. — 168 с.
2. *Автоматизация сварочных процессов* / Под ред. В. К. Лебедева, В. П. Черныша. — Киев: Виц. шк., 1986. — 296 с.
3. *Бондаренко О. П., Поповский В. Ю.* Регулирование уровня металла в процессах электрошлаковой технологии // *Автоматическое управление процессами сварки и нанесения покрытий*. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1988. — С. 65–72.
4. *Ланкин Ю. Н., Масалов Ю. А., Байштрук Е. Н.* Схема управления приводами сварочных установок // *Там же*. — 2006. — № 7. — С. 57–59.

The schematic diagram is given and system of adjustment of metal pool level in ESW, using an inductive sensor with a measuring high-speed transducer is described. System has passed laboratory trials confirming its design characteristics.

Поступила в редакцию 17.11.2006