



МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ РОБОТА ПО ЗАЗОРУ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ

И. Ф. КОРИНЕЦ, канд. техн. наук, **ЦЗИ ЧЖЕНЬ ЧУН**, магистр
(НТУУ «Киевский политехнический институт»)

Разработана детерминированно-статистическая модель адаптации робота по зазору при дуговой сварке в смеси $Ar + 25\% CO_2$ плавящимся электродом. Ее можно применить для разработки математического и программного обеспечения адаптивных систем управления роботом для дуговой сварки в инертных газах плавящимся и неплавящимся электродами, а также под флюсом.

Ключевые слова: дуговая сварка, плавящийся электрод, защитная смесь, робот, система управления, математическая модель

Развитие робототехники становится основным направлением автоматизации сварочного производства [1]. Например, в Германии почти половина всех промышленных роботов используется в сварке [2]. Первоначально их применяли для точечной контактной сварки, роботизация которой была технически проще по сравнению с дуговой [3, 4]. С развитием средств робототехники стали применять роботы для дуговой сварки (более 90% из них выполняют дуговую сварку в активных газах плавящимся электродом и около 5% в инертных газах).

Широкое применение роботизированной дуговой сварки сдерживается наличием случайных отклонений линии соединения заготовок, а также величины зазора между ними и формы подготовки кромок. Необходимость решения этой проблемы обусловило разработку адаптивных систем управ-

ления роботов, обладающих способностью автоматически приспосабливаться к изменениям внешней среды [5]. Задача пространственной адаптации робота, т. е. автоматического ведения дуги по сложному контуру сварного соединения, является практически решенной [6]. Более сложной является задача технологической адаптации робота, т. е. автоматической корректировки параметров режима в процессе сварки (например, при нестабильном зазоре в сварном соединении, обусловленном недостаточной точностью сборки и деформацией кромок в процессе сварки).

Перспективным средством технологической адаптации являются видеосенсорные системы [1–5, 7]. Однако видеосенсоры, расположенные на горелке в непосредственной близости от зоны сварки, испытывают воздействие теплового и светового излучений, электромагнитных помех, брызг расплавленного металла и аэрозоля, что снижает их надежность [7]. В настоящее время, благодаря миниатюризации аппаратуры, защиты ее от воздей-

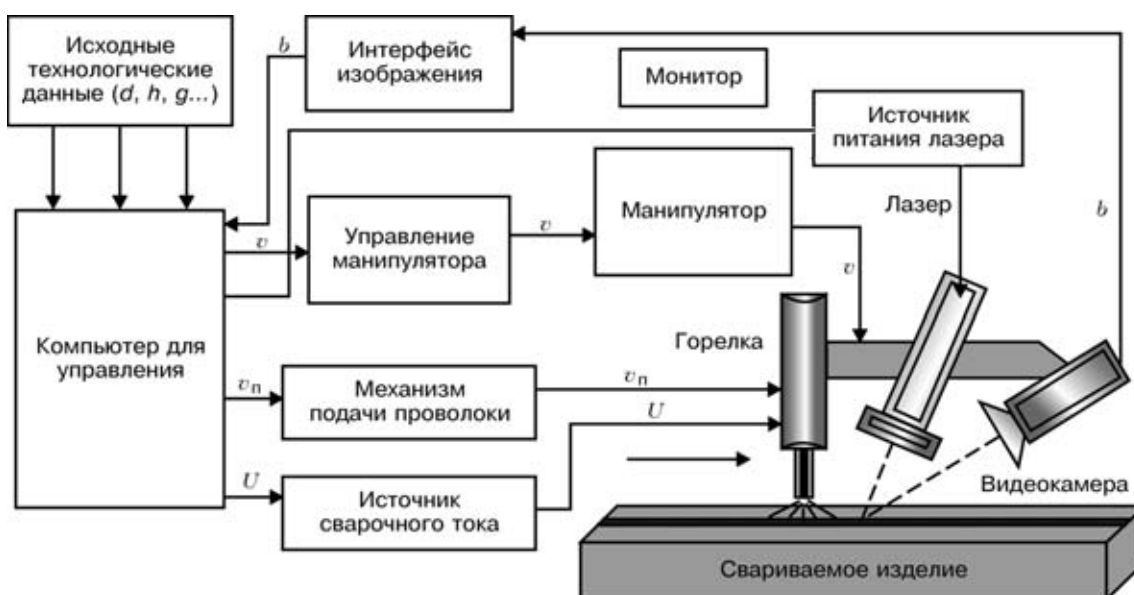


Рис. 1. Структурная схема технологической адаптации по зазору роботизированной дуговой сварки в защитном газе плавящимся электродом

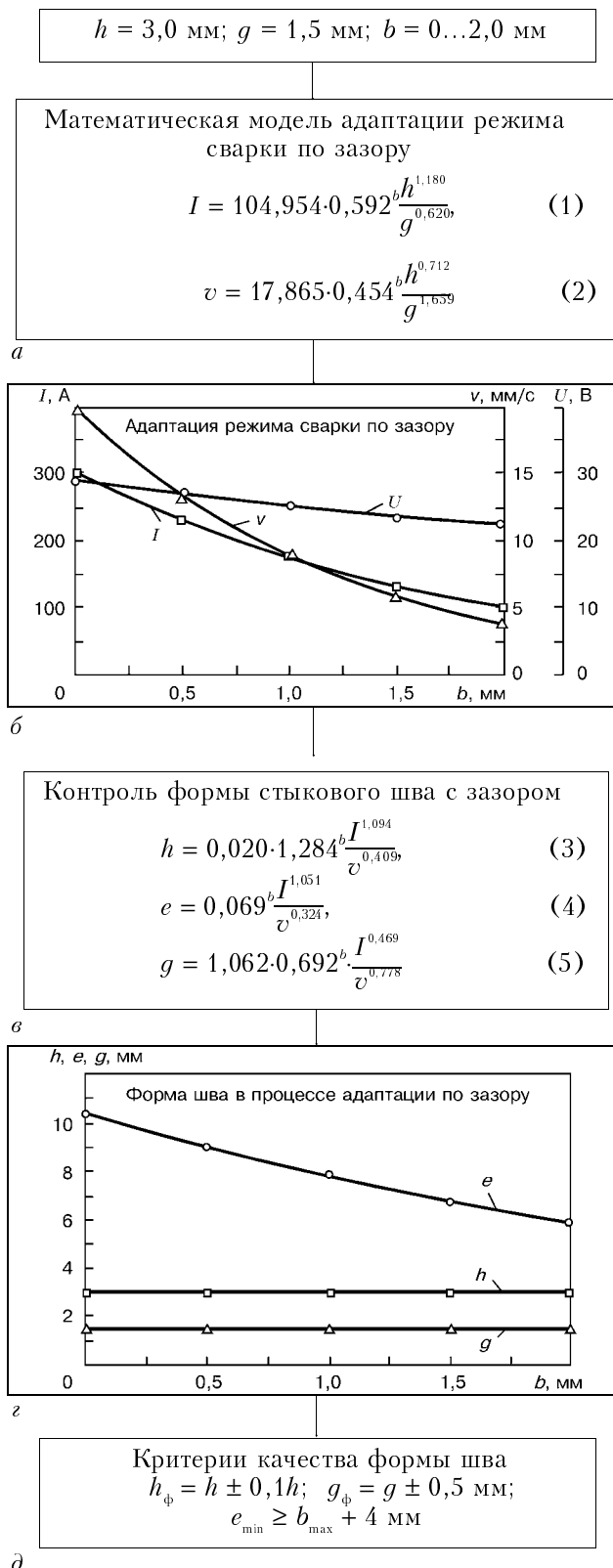


Рис. 2. Математическая модель технологической адаптации по зазору роботизированной дуговой сварки в смеси Ag + 25 % CO₂ плавящимся электродом

твия сварочной дуги и снижения стоимости технических средств, ведущие фирмы по производству роботов перешли от лабораторных испытаний видеосенсоров к практическому их применению. В случае технологической адаптации робота посту-

пающая от видеосенсора информация (рис. 1) должна обрабатываться в реальном масштабе времени и обеспечивать корректировку параметров режима в процессе сварки. Это обуславливает повышенные требования к быстродействию адаптивной системы управления роботом и особые требования к разработке ее математического и программного обеспечения.

Известно, что зазор в стыке оказывает существенное влияние на глубину проплавления и качество формирования шва. Поэтому при дуговой сварке первостепенной задачей является технологическая адаптация робота по зазору. Эта адаптация должна выполняться в реальном масштабе времени.

В связи с этим целью работы является разработка математической модели технологической адаптации робота по величине зазора в стыковом соединении при дуговой сварке плавящимся электродом, которая отличалась бы простотой и, следовательно, требовала минимального времени для расчета и корректировки режима сварки.

Используя метод детерминированно-статистического моделирования формы шва при дуговой сварке [8], была разработана математическая модель формы шва при дуговой сварке стыковых бескосых соединений с переменным зазором [9]. Для решения задачи адаптации режима дуговой сварки по зазору прежде всего была разработана математическая модель формы шва (прямая задача) с учетом влияния зазора (выражения (3)...(5)). Экспериментальная оценка влияния зазора и параметров режима сварки на форму шва на примере дуговой сварки в смеси Ag + 25 % CO₂ плавящимся электродом показала, что математическая модель формы шва может иметь достаточный уровень адекватности при учете только двух основных параметров: сварочного тока I и скорости сварки v . Решение системы уравнений (3) и (4) относительно тока и скорости сварки (обратная задача) позволило получить простую математическую модель адаптации режима дуговой сварки по зазору (рис. 2, а, выражения (1) и (2)).

Использование модели показано на рис. 1 и 2. Часть входной информации (d — диаметр электродной проволоки; h — глубина проплавления; g — высота выпуклости шва и др.) задается оператором при программировании робота. В процессе сварки видеосенсорная система выдает величину зазора, которая поступает в компьютер, где (по выражениям (1) и (2)) рассчитываются текущие параметры режима сварки: ток и скорость сварки. Остальные параметры режима сварки (напряжение сварки U и скорость подачи электродной проволоки v_{II}) являются производными от ранее определенных параметров и также рассчитываются в компьютере. Так, скорость подачи электродной проволоки можно определить по разработанной в работе [10] формуле:

$$v_{II} = 0,53 \frac{I}{d^2} + 0,7 \cdot 10^{-3} \frac{I^2}{d^3} \quad (6)$$



Оптимальное напряжение сварки можно рассчитать в зависимости от величины сварочного тока по формуле

$$U = 14 + 0,05I. \quad (7)$$

Рассчитанные текущие параметры сварки v , v_{II} и U поступают на исполнительные органы робота для корректировки режима сварки.

Анализ процесса технологической адаптации робота по зазору показывает, что с увеличением зазора все параметры режима сварки I , U и v снижаются (рис. 2, б). Расчет размеров шва по исходной модели формы шва (выражения (3)...(5)) показывает, что в процессе адаптации при условии обеспечения постоянства глубины проплавления и высоты выпуклости шва с увеличением зазора ширина шва не остается постоянной, а снижается (рис. 2, в).

В условиях дуговой сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей, у которых термический цикл сварки не вызывает существенного изменения свойств в металле ЗТВ, критерием качества технологической адаптации может быть соответствие фактически полученных размеров и формы шва требованиям стандарта (рис. 2, д).

Выводы

1. Разработана детерминированно-статистическая математическая модель технологической адаптации по зазору при роботизированной дуговой сварке плавящимся электродом, отличающаяся простотой (учитываются два основных параметра режима сварки), применение которой позволяет повысить быстродействие адаптивной системы управления роботом.

A deterministic-statistical model was developed of robot adaptation to the gap in consumable-electrode arc welding in a mixture of Ar + 25 % CO₂. It may be applied in development of the software of adaptive control systems of robots for MIG and MAG, and well as submerged-arc welding.

2. В процессе адаптации по зазору при условии постоянства заданной глубины проплавления и высоты выпуклости шва с увеличением зазора в стыке уменьшаются сварочный ток и скорость сварки и соответственно ширина шва.

3. Метод моделирования технологической адаптации по зазору можно применить при разработке математического и программного обеспечения адаптивной системы управления роботами при других способах дуговой сварки сталей и цветных металлов и сплавов: под флюсом, в инертных газах плавящимся и неплавящимся электродом.

1. Тимченко В. А., Бернадский В. Н. Современное состояние и тенденции развития роботизации сварочного производства // Автомат. сварка. — 1997. — № 3. — С. 23–27.
2. Клоос К.-Е., Дилтей У. Применение роботизированных технологических комплексов для дуговой сварки // Там же. — 1991. — № 7. — С. 55–59.
3. Тимченко В. А., Сухомли А. А. Роботизация сварочного производства. — Киев: Техніка, 1988. — 175 с.
4. Сварочные роботы / Под ред. Г. Гердена: Пер. с нем. — М.: Машиностроение, 1988. — 288 с.
5. Морозов Б. И., Станкевич Л. А., Юревич Е. И. Системы управления роботами. — Л.: ЛПИ, 1987. — 88 с.
6. Тимченко В. А., Нечев Г. Состояние и тенденции развития роботов для сварки // Автомат. сварка. — 1982. — № 7. — С. 45–57.
7. Бортияков Ю. Л., Устинов Н. Г. Разработка тракта адаптации системы управления робота дуговой сварки // Свароч. пр-во. — 1990. — № 10. — С. 34–36.
8. Коринец И. Ф., Цзи Чжень Чуи. Детерминированно-статистическая модель формы шва при дуговой сварке // Автомат. сварка. — 2001. — № 10. — С. 44–51.
9. Коринец И. Ф., Цзи Чжень Чуи. Влияние зазора на размеры стыкового шва при дуговой сварке в смеси Ar + CO₂ плавящимся электродом // Там же. — 2002. — № 8. — С. 16–20.
10. Коринец И. Ф. Математическая модель плавления электродной проволоки при дуговой сварке // Там же. — 1995. — № 10. — С. 39–43.

Поступила в редакцию 04.10.2001