



СИСТЕМА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ЗА ПРОЦЕССОМ СВАРКИ ТИГ ТИТАНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В. А. КОЛЯДА, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Разработана система видеонаблюдения за процессом сварки ТИГ титановых конструкций в узкий зазор при токах до 500 А. Система видеонаблюдения снабжена средствами автоматического управления чувствительностью фотоприемника в зависимости от интенсивности светового излучения сварочной дуги.

Ключевые слова: сварка титана, видеонаблюдение, световое излучение дуги, цифровая видеокамера, управление чувствительностью, автоматический регулятор

В последнее время значительно увеличиваются объемы использования титановых сплавов в разных областях промышленности, особенно в авиа- и судостроении. Применительно к судостроительной отрасли широкое распространение получил процесс многослойной сварки титановых конструкций толщиной 20...100 мм в узкий зазор с магнитоуправляемой дугой. Для управления данным технологическим процессом оператору сварочной установки необходимы средства обратной связи, обеспечивающие визуальное наблюдение за зоной сварки, которое затруднено из-за малых размеров зазора и переменной интенсивности светового излучения сварочной дуги. Как следствие, в данном случае для реализации визуального контроля целесообразно использовать средства технического зрения. Стандартные системы видеонаблюдения для решения данной задачи не подходят, поскольку функции автоматической регулировки усиления сигнала или подстройки диафрагмы объектива не могут в достаточной мере решить проблему перенасыщения фотоприемника при высоком уровне внешнего светового излучения.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработана система видеонаблюдения за процессом сварки ТИГ титановых конструкций, оснащенная элементами адаптации к уровню светового излучения сварочной дуги. Система представляет собой монохромную цифровую видеокамеру с интегрированным микропроцессорным контроллером. Между объективом видеокамеры и матрицей фотоприемника установлены специальные светофильтры. В качестве выходного сигнала используется стандартный телевизионный сигнал в формате PAL. Микропроцессорный контроллер служит для анализа получаемых изображений, автоматической подстройки режима работы матрицы фотоприемника и формирования выходного телевизионного сигнала. Реализована также функция масштабирования, позволяющая выбирать на изображении участок,

соответствующий зоне сварки, и представлять его в виде полноэкранных кадров.

Цифровые изображения, формируемые с помощью матрицы фотоприемника, имеют ограниченный динамический диапазон интенсивности пикселей, зависящий от разрядности аналогово-цифровых преобразователей фотоприемных ячеек. При недостаточном уровне внешней освещенности изображения могут иметь нулевую или крайне низкую яркость. При этом интенсивность пикселей будет находиться в окрестности нижней границы динамического диапазона. В то же время при высоком уровне освещенности может наблюдаться превышение предела насыщения матрицы фотоприемника, т. е. интенсивность пикселей будет соответствовать верхней границе диапазона. В обоих случаях визуальное качество и информативность формируемых изображений крайне низкие. Таким образом, для стабилизации визуального качества выходного телевизионного сигнала необходимо поддерживать высокую яркость изображений и при этом не допускать значительного перенасыщения матрицы фотоприемника.

Световое излучение сварочной ванны при сварке ТИГ титановых конструкций характеризуется значительными колебаниями интенсивности, для уменьшения которых необходимо управлять режимом работы видеокамеры. В качестве управляющего сигнала выбрано время экспозиции видеокамеры e , которое определяет общую чувствительность фотоприемника. Максимальная интенсивность любого из пикселей изображения i_{\max} зависит от уровня освещенности фотоприемника L и значения параметра e , заданного на предыдущем такте работы видеокамеры:

$$i_{\max}[n] = l_{\max}[n]e[n-1]k_1,$$

$$I_{\min} \leq i_{\max}[n] \leq I_{\max}, \quad l \geq 0, \quad E_{\min} \leq e[n] \leq E_{\max}, \quad (1)$$

где n — номер такта; $l_{\max} \in L$ — максимальный уровень освещенности одной из ячеек фотоприемника; $k_1 > 0$ — коэффициент усиления видеокамеры; $l_{\max} > 0, I_{\min} \geq 0$ — соответственно верхняя

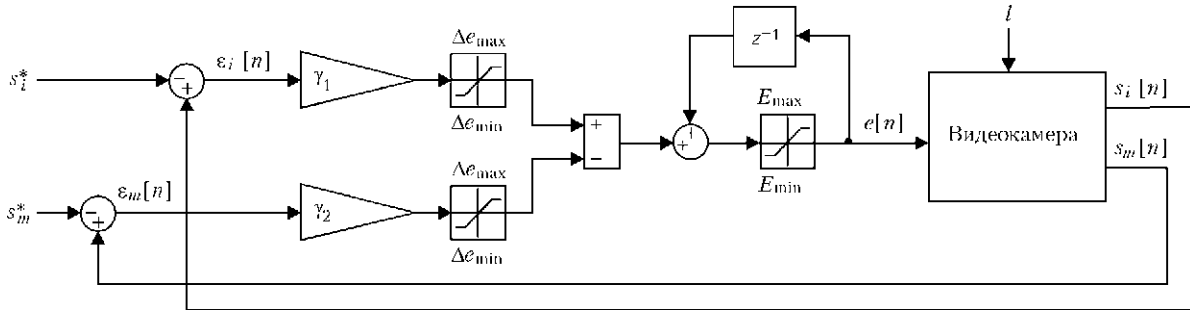


Рис. 1. Схема автоматического регулятора для стабилизации визуального качества изображений (обозначения см. в тексте)

и нижняя границы общего динамического диапазона интенсивности пикселей; $E_{\max} > 0, E_{\min} > 0$ — соответственно пределы изменения экспозиции.

Если значение в правой части уравнения (1) равно или превышает I_{\max} , то возникает насыщение пикселей матрицы фотоприемника. Количество пикселей с максимальной интенсивностью можно задать в виде

$$m_{\max}[n] = i_s[n]k_2[n], i_s \geq 0, \quad (2)$$

где $i_s[n] = l[n]e[n-1]k_1 - I_{\max}$, $k_2[n] \geq 0$ — коэффициент, зависящий от распределения интенсивности светового излучения наблюдаемого объекта.

Из выражений (1) и (2) следует, что видеокамера является нелинейным объектом, для автоматического управления которым целесообразно использовать оптимальный или адаптивный подход [1]. Параметры $I_{\max}[n]$ и $m_{\max}[n]$ являются независимыми. Следовательно, обратная связь регулятора должна быть представлена двумя сигналами, один из которых характеризует текущую яркость изображения, а второй — уровень насыщения фотоприемника. Показатель яркости вычисляется как

$$s_i[n] = \frac{I_{\max} - i_{\max}[n]}{I_{\max}}. \quad (3)$$

Уровень насыщения фотоприемника определяется следующим образом:

$$s_m[n] = \frac{m_{\max}[n]}{M}, \quad (4)$$

где M — общее количество пикселей изображения.

Критерий качества управления для минимизации мгновенного значения ошибок имеет следующий вид:

$$J(e) = \varepsilon^2[n] + \varepsilon_m^2[n] = (s_i[n] - s_i^*)^2 + (s_m[n] - s_m^*)^2 \rightarrow \min, \quad (5)$$

где s_i^*, s_m^* — задающие воздействия.

При нулевых значениях s_i^*, s_m^* и фиксированной диафрагме минимизация ошибки по показателю яркости достигается повышением экспозиции видеокамеры, минимизация ошибки по уровню насыщения, наоборот, понижением. Для поиска оптимального решения выбран градиентный метод [2], в соответствии с которым уравнение дискретного регулятора запишется следующим образом:

$$e[n] = e[n-1] + \nabla J(e) = e[n-1] + \gamma_1 \varepsilon_i[n] - \gamma_2 \varepsilon_m[n], \quad (6)$$

где $\gamma_1 > 0, \gamma_2 > 0$ — коэффициенты усиления ошибок.

Схема синтезированного автоматического регулятора показана на рис. 1. Значения коэффициентов усиления γ_1, γ_2 предварительно определяли путем моделирования в среде MatLab и дополнительно уточняли экспериментальным путем. В качестве основного критерия настройки регулятора выбрана минимизация ошибки управления, поскольку значительное перерегулирование может приводить к колебательному процессу (мерцанию изображения). На амплитуду изменения управляющего сигнала $e[n]$ также наложены дополнительные ограничения от Δe_{\min} до Δe_{\max} .

Логика работы регулятора при $s_i^* = 0, s_m^* = 0$ проиллюстрирована с помощью рис. 2. В начальный момент времени при $l[0] > 0$ возникает ошибка по показателю яркости $\varepsilon_i[n]$. На последующих тактах экспозиция $e[n]$ увеличивается до достижения верхней границы диапазона яркости ($i_{\max}[n] \rightarrow I_{\max}$). При насыщении матрицы фотоприемника ($\varepsilon_m[n] > 0$) экспозиция видеокамеры постепенно уменьшается и т. д. Таким образом, обеспечивается стабилизация визуального качества изображения вблизи границы насыщения. В случае необходимости, задав $\Delta e_{\min} = 0, s_i^* > 0$ и/или $s_m^* > 0$, можно обеспечить некоторую зону нечувствительности регулятора к изменению внешней освещенности.

При нулевой или низкой внешней освещенности экспозиция увеличивается до достижения

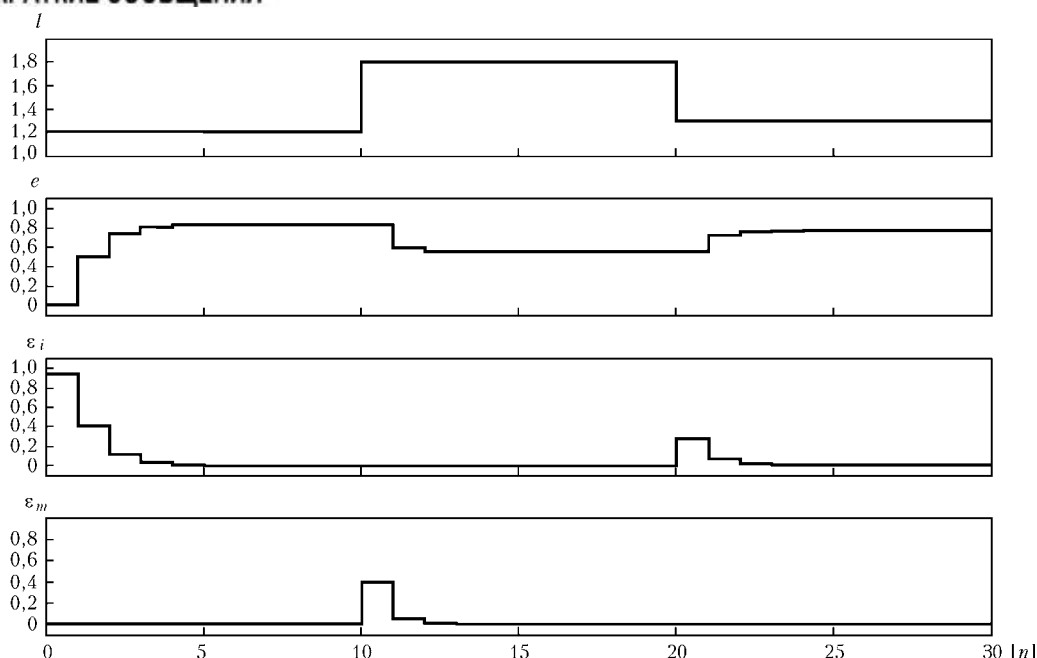


Рис. 2. Поведение автоматического регулятора при изменениях внешней освещенности фотоприемника

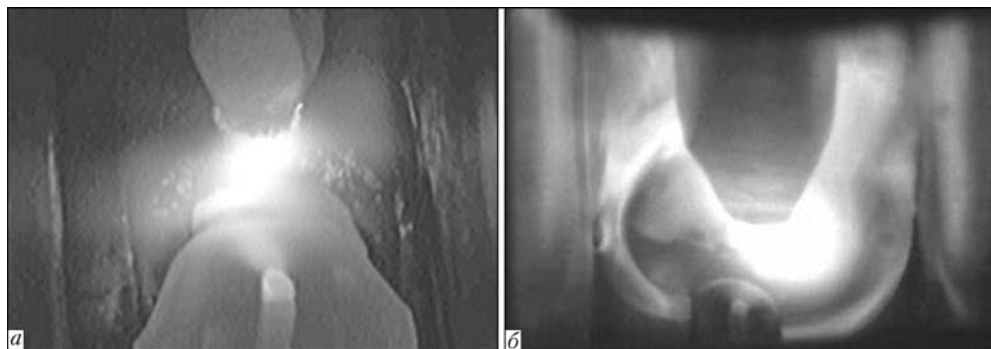


Рис. 3. Примеры формируемых изображений зоны сварки ТИГ при токе сварки 100 (а) и 500 (б) А

верхней границы E_{\max} , при этом максимально можно увеличивать общую яркость изображения. Диапазон эффективной стабилизации визуального качества изображений может быть отрегулирован с помощью диафрагмы объектива.

Для улучшения визуального восприятия телевизионного сигнала дополнительно выполняется поэлементная гамма-коррекция выходных изображений. Увеличение коэффициента гамма-коррекции позволяет повысить контрастность, разборчивость темных участков изображения, не делая при этом чрезмерно контрастными или яркими светлые детали кадра.

В ходе экспериментов установлено, что разработанная система видеонаблюдения обеспечивает приемлемый уровень детализации выходного телевизионного сигнала для всего диапазона токов сварки (100...500 А) и позволяет оператору-свар-

щику в достаточной мере контролировать сварочный процесс. На рис. 3 четко различимы все необходимые объекты: электрод, сварочная дуга, стенки разделки, область жидкого металла.

Система видеонаблюдения внедрена в качестве штатного оборудования установки для сварки ТИГ конструкций из титана марок ВТ20 и ВТ6. Предложенный подход к управлению чувствительностью фотоприемника можно применять для создания систем видеонаблюдения за любыми объектами, которые характеризуются значительным диапазоном изменения интенсивности светового излучения.

1. Александров А. Г. Оптимальные и адаптивные системы. — М.: Высш. шк., 1989. — 263 с.
2. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. — М.: Наука, 1968. — 400 с.

The system for video observation of the process of narrow-gap TIG welding of titanium structures at currents of up to 500 A was developed. The video observation system is equipped with the means for automatic control of sensitivity of the photodetector depending on the intensity of radiation of the welding arc.

Поступила в редакцию 04.07.2011