



УДК 669.187:658.011.54

## ИЗУЧЕНИЕ СПЕКТРОВ АРГОНОВЫХ ДУГ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПЛАЗМЕННО-ДУГОВОЙ ПЛАВКИ И СВАРКИ В АРГОНЕ

Е. В. Шаповалов

Представлены экспериментальные данные по изучению спектра аргоновой дуги. Полученные экспериментальные данные необходимы для создания систем технического зрения, работающих в условиях аргоновой дуги.

Experimental data on study of argon arc spectrum are presented. The obtained experimental data are necessary to create the systems of technical vision operating in the conditions of argon arc.

**Ключевые слова:** автоматизация процессов; плазменно-дуговая плавка; аргонодуговая сварка; спектр аргоновой дуги; система технического зрения; ПЗС матрицы

Автоматизация технологических процессов плазменно-дуговой плавки и сварки предполагает наличие системы технического зрения (СТЗ), позволяющей в реальном масштабе времени получать визуальную информацию о параметрах технологических процессов (размеры и форма металлической ванны, расстояние от ванны до среза сопла плазматрона, уровень металла относительно среза кристаллизатора, пространственное положение стыка, параметры разделки кромок и т.п.). В неавтоматизированных системах эти функции возложены на оператора или сварщика.

Целью данной работы является изучение спектров аргоновых дуг для уменьшения влияния излучения дуги на СТЗ, используемые в технологических процессах плазменно-дуговой плавки и сварки в аргоне.

Относительная чувствительность рецепторов человеческого зрения в зависимости от длины волны показана на рис. 1 [1]. Для защиты человеческого зрения от интенсивного излучения электрической дуги используют серийно выпускаемые оптические фильтры. На рис. 2 показаны спектры поглощения наиболее распространенных фильтров С-3 и С-4. Как следует из рис. 1 и 2, спектр поглощения фильтров С-3 и С-4 практически полностью перекрывает диапазон длин волн, к которому чувствителен человеческий глаз.

© Е. В. ШАПОВАЛОВ, 2003

В настоящее время в качестве светочувствительного устройства в большинстве СТЗ используют прибор с зарядовой связью (ПЗС) матрицы.

Принцип работы ПЗС матрицы заключается в следующем. На основе полупроводникового материала (кремний, германий) создается матрица светочувствительных элементов. Каждый светочувствительный элемент имеет свойство накапливать заряды пропорционально количеству попавших на него фотонов. Таким образом, за некоторое время экспозиции на секции накопления получается двумерная матрица зарядов, пропорциональных яркости исходного изображения. Накопленные заряды пер-

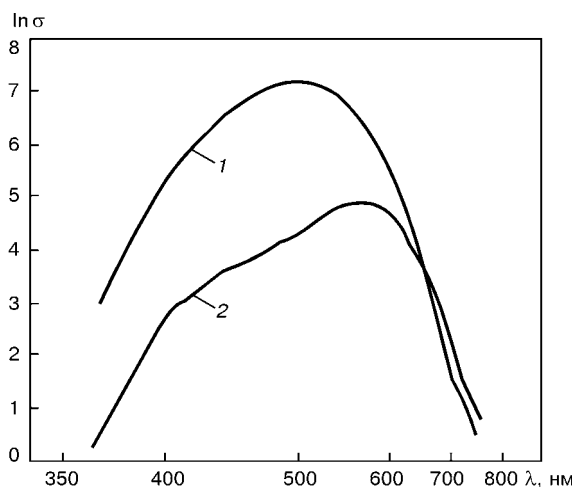


Рис. 1. Относительная чувствительность рецепторов человеческого зрения: 1 — палочки; 2 — колбочки;  $\ln \sigma$  — логарифм относительной чувствительности;  $\lambda$  — длина волны

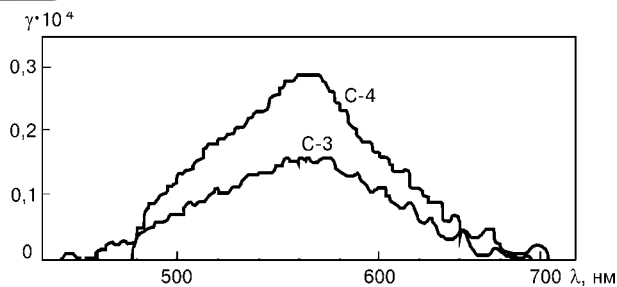


Рис. 2. Спектр поглощения сварочных стекол С-3 и С-4;  $\gamma$  — коэффициент поглощения

воначально переносятся в секцию хранения, а далее строка за строкой — на выход матрицы.

Несмотря на видимое разнообразие телевизионных камер, ПЗС матрицы, используемые в них, практически одинаковы, поскольку технология их изготовления аналогична у всех производителей. Основными параметрами ПЗС матриц являются размерность в пикселях; спектральная чувствительность.

Разрешающая способность ПЗС камер в основном определяется размерностью ПЗС матрицы в пикселях и качеством объектива. К наиболее широко применяемым следует отнести ПЗС матрицы с разрешением, ориентированным на телевизионный стандарт —  $512 \times 576$  и  $768 \times 576$ . Для СТЗ, применяемых в автоматических системах управления процессами плазменно-дуговой плавки и сварки, наиболее приемлемым является использование матрицы форматом  $768 \times 576$ . Это обусловлено такими факторами:

ПЗС матрицы форматом  $768 \times 576$  позволяют получить максимальное разрешение для стандартного телевизионного сигнала;

в отличие от матриц формата  $512 \times 576$ , они имеют близкую к квадрату сетку расположения светочувствительных элементов, а следовательно, одинаковую разрешающую способность по горизонтали и вертикали.

При использовании ПЗС матрицы с большим разрешением возникают дополнительные трудности, связанные с обработкой изображений в реальном масштабе времени. Для СТЗ, работающих в условиях электрической дуги, важным фактором является спектральная чувствительность ПЗС матриц.

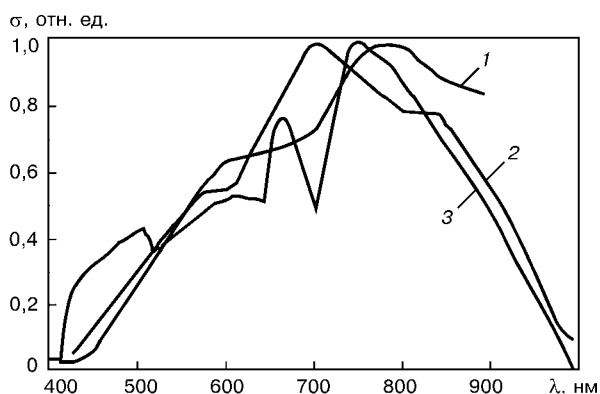


Рис. 3. Спектральные характеристики ПЗС матриц различных производителей: 1 — «Dalsa»; 2 — «Thomson»; 3 — «Texas instruments»;  $\sigma$  — спектральная чувствительность

В работе [2] приводятся спектральные характеристики некоторых ПЗС матриц (рис. 3).

ПЗС матрицы изготавливают преимущественно на основе кремния. Поэтому при всем разнообразии характеристик они отличаются также максимумом чувствительности в красном и ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне. Германиевые ПЗС матрицы хотя и имеют более широкий диапазон чувствительности в дальней ИК области спектра, но практически не используются в СТЗ из-за высокой стоимости. По данным работы [3], фирма «Sony» все свои черно-белые матрицы выпускает со спектральной характеристикой, представленной на рис. 4.

ПЗС матрицы имеют более широкий диапазон спектральной чувствительности по сравнению с человеческим зрением, поэтому использование стандартных оптических фильтров является невозможным. При построении СТЗ для управления процессами плазменно-дуговой плавки в аргоне возникают трудности с определением параметров оптического фильтра, защищающего ПЗС матрицу от интенсивного излучения электрической дуги.

Большинство СТЗ, предназначенных для слежения за линией стыка при аргонодуговой сварке, используют осветитель [4–8]. Выбор длины волны такого осветителя является одной из важных научных проблем, поскольку дуга при этом должна оказывать как можно меньшее влияние на работу СТЗ, а ПЗС матрица иметь достаточную чувствительность к этой длине волны.

Для решения указанных проблем в ИЭС им. Е. О. Патона были проведены экспериментальные исследования спектра аргоновой дуги с помощью дифракционного спектрометра. В его конструкции можно выделить четыре основных структурных блока: дифракционная решетка, объектив, фотоприемник, микропроцессорный блок обработки данных. В качестве фотоприемника использовали ПЗС матрицу. Излучение аргоновой дуги с помощью призмы и объектива фокусировали на дифракционную решетку спектрометра. Измерения проводили в четырех диапазонах —  $500 \dots 632$ ,  $632 \dots 762$ ,  $762 \dots 893$ ,  $893 \dots 1000$  нм. Экспериментальные спектральные характеристики аргоновых дуг стали и алюминия показаны на рис. 5.

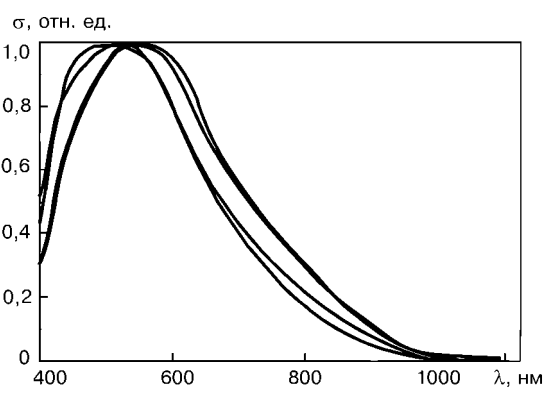


Рис. 4. Семейство типовых характеристик спектральной чувствительности некоторых ПЗС матриц фирмы «Sony»

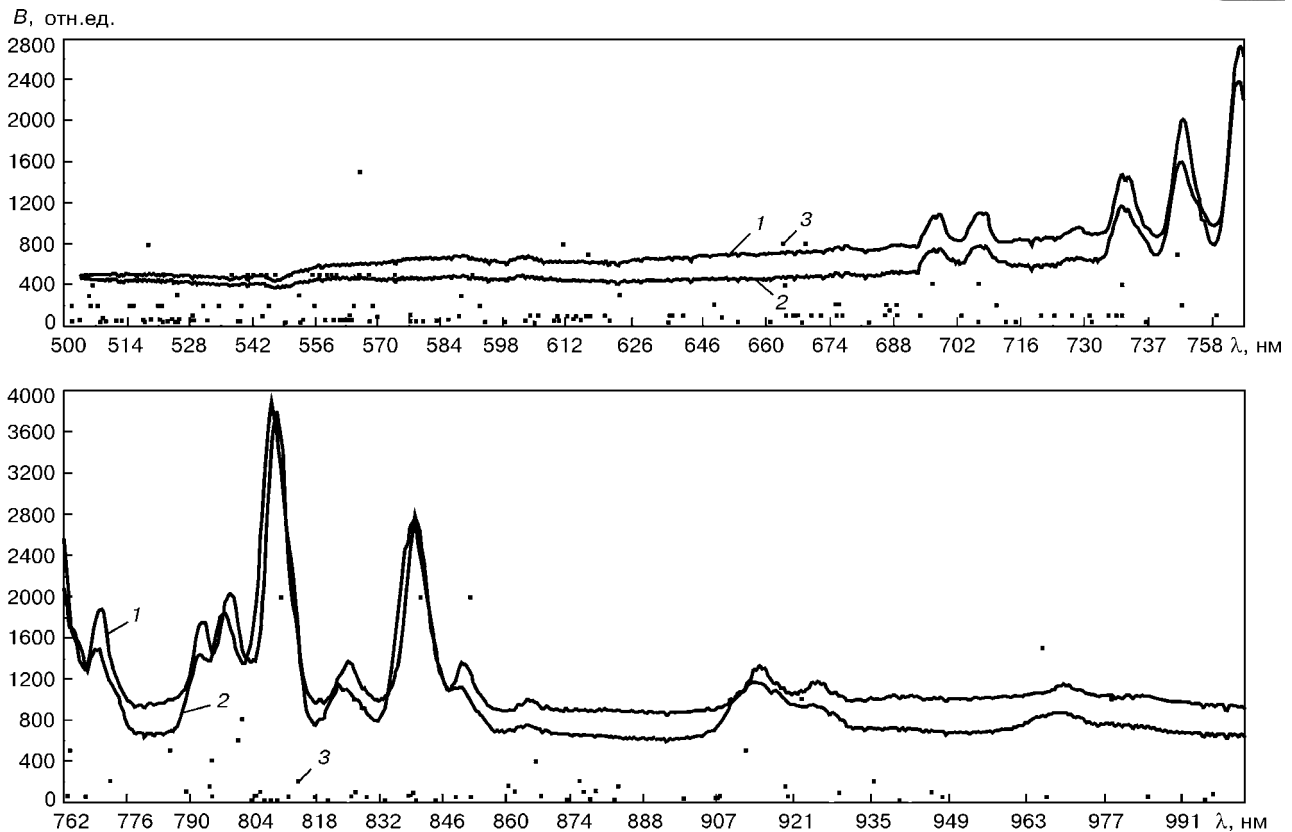


Рис. 5. Спектральные характеристики аргоновых дуг: 1 — алюминий; 2 — сталь; 3 — аргон;  $B$  — яркость

Формы экспериментальных кривых для стали и алюминия не имеют существенных различий. Это можно объяснить тем, что спектральные линии атомов используемых металлов в диапазоне 500... 1000 нм не отличаются большой яркостью. Возможно также поглощение этих спектральных линий защитным газом (аргоном) или воздухом. Полученные экспериментальные данные необходимы для определения параметров оптических фильтров, применяемых в СТЗ плазменно-дуговой плавки и сварки в аргоне.

Согласно экспериментальным данным, максимальные значения яркости аргоновой дуги были зафиксированы в диапазоне от 680 до 870 нм, а наиболее благоприятными для работы СТЗ являются диапазоны 500... 680 нм.

На рис. 5 также приведены теоретические значения яркости спектральных линий аргона [9]. Отличие экспериментальных данных от теоретических обусловлено несколькими факторами. В последних не учитывалось поглощение излучения дуги средой прохождения (воздухом), влияние температурной светимости расплавленного металла. Также можно отметить некое уширение спектральных линий, что объясняется хаотическим тепловым движением в газе. На ширину спектральных линий влияют столкновения между излучающими частицами, сильные возмущения частоты ионов, обусловленные их случайным расположением в кристаллической решетке, изменение частоты излучения ионов из-за эффекта Доплера.

С учетом полученных результатов в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины была разработана система направления горелки по стыку с телевизионным датчиком [7]. Использование полосовых фильтров в диапазоне от 500 до 680 нм позволило с помощью ПЗС видеокамеры наблюдать за металлической ванной при плазменно-дуговой плавке в аргоне на печи УПП-3.

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: В 2 т. — М.: Мир, 1982. — Т. 1. — 400 с.
2. Майоров В. П., Овчинников Л. Ф., Семин М. С. Рассуждения о телевизионных камерах // Компьютерра. — 1998. — № 14. — С. 17–21.
3. Чура Н. И. ИК-подсветка при теленаблюдении // Спец. техника. — 2000. — № 1. — С. 35–38.
4. Повышение качества слежения за стыком на основе технического зрения / Ф. Н. Кисилевский, Г. А. Бутаков, В. В. Долиненко, Е. В. Шаповалов // Пробл. обеспечения качества в свароч. пр-ве: Материалы междунар. науч.-практ. конф. и выставки (Киев, 3–6 апр. 2001 г.). — Киев, 2001. — С. 20–21.
5. Устинов Н. Г., Карпиленко А. В. Оптический сенсор для автоматической сварки // Автомат. сварка. — 1992. — № 7–8. — С. 37–40.
6. Boillot J. P., Noruk J. The benefits of laser vision in robotic arc welding // Welding J. — 2002. — № 8. — P. 32–34.
7. Кисилевский Ф. Н., Притула С. И., Долиненко В. В. Система направления сварочной горелки по стыку с телевизионным датчиком // Автомат. сварка. — 2003. — № 1. — С. 51–52.
8. Оптический сенсор для слежения за стыком при размерах зазора, близких к нулю / Ф. Н. Кисилевский, Г. А. Бутаков, В. В. Долиненко, Е. В. Шаповалов // Там же. — 2003. — № 2. — С. 51–52.
9. Таблицы спектральных линий. Справочник / А. Н. Зайдель, В. К. Прокофьев, С. М. Райский и др. — М.: Наука, 1997. — 800 с.

Ин-т электросварки им. Е. О. Патона, Киев  
Поступила 18.03.2003