



КАЛИБРОВКА ТРИАНГУЛЯЦИОННЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕНСОРОВ

Ф. Н. КИСЕЛЕВСКИЙ, д-р техн. наук, В. А. КОЛЯДА, инж. (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Предложена методика калибровки триангуляционных оптических сенсоров, применяемых при автоматизации сварочных процессов. Она позволяет калибровать сенсоры после их монтажа на сварочной установке в производственных условиях.

Ключевые слова: дуговая сварка, сварочные установки, триангуляционный оптический сенсор, эталонное изделие, лазерный генератор линии, плоскость излучения, математическая модель, преобразование систем координат, перспективное преобразование

В последнее время наблюдается повышенный интерес к оптическим сенсорным системам как средствам автоматизации производственных сварочных процессов. Наиболее функциональными являются оптические системы, основанные на триангуляционных сенсорах, в которых используется метод светового сечения. Такие системы могут применяться как для слежения за стыком с разделкой кромок, так и для управления технологическими параметрами режима сварки на основании приобретенной информации о геометрии разделки. Требования к точности измерения геометрических параметров стыка обычно достаточно высоки, и для достижения требуемой точности сенсор должен быть определенным образом откалиброван.

Триангуляционный оптический сенсор состоит из двух основных компонентов: видеокамеры и лазерного генератора линии (ЛГЛ). Для калибровки необходим третий элемент — эталонное изделие определенного вида, помещенное в рабочую зону сенсора. В общем случае задача калибровки сенсора сводится к объединению всех трех компонентов в систему, в которой параметры одного элемента (эталонного изделия) заранее известны.

В работе [1] в качестве эталонного изделия предлагается использовать параллелепипед с вырезом, имитирующим прямоугольную разделку известной высоты и ширины. Математическая модель внутренних компонентов сенсора, необходимая для калибровки, строится на основании сборочного чертежа устройства. Основной недостаток: идеализированная математическая модель внутренних компонентов.

Процедуру калибровки триангуляционного оптического сенсора можно разбить на две задачи: калибровку видеокамеры и определение взаимного расположения видеокамеры и плоскости излучения лазерного генератора линии.

Методы калибровки видеокамеры с использованием в качестве эталонного изделия плоского шаблона предложены в работах [2, 3]. Входными данными являются несколько изображений шаблона при различном взаимном расположении видео-

камеры и шаблона. Применительно к задаче калибровки сенсора, закрепленного на сварочной установке, основным недостатком методов, предложенных в работах [2, 3], является необходимость изменения взаимного расположения видеокамеры и эталонного изделия.

Предлагаемый метод калибровки видеокамеры не требует изменения взаимного расположения эталонного изделия (рис. 1) и видеокамеры при получении исходных данных. На верхнюю плоскость изделия нанесена сетка, состоящая из одинаковых ячеек определенного размера. При проведении калибровки эталонное изделие вносится в рабочую зону сенсора таким образом, чтобы центральные линии сетки максимально совпадали с центральными осями изображения на экране и расстояние от сенсора до верхней плоскости эталонного изделия лежало в пределах допусков на установку сенсора относительно поверхности объекта измерения. Строится математическая модель, представляющая собой описание зависимости изображения на экране от параметров объектива видеокамеры и взаимного расположения видеокамеры и эталонного изделия. Выбираются три системы координат: эталонного изделия, видеокамеры и изображения.

При помощи классических методов преобразования систем координат [4] путем последовательного умножения матриц вращения и переноса формируется матрица преобразования из системы координат камеры в систему координат эталонного изделия A_k . При формировании матрицы A_k используются входные параметры модели: паспортные данные компонентов сенсора и особенности его конструктивного исполнения. Для построения преобразования из системы координат видеокаме-

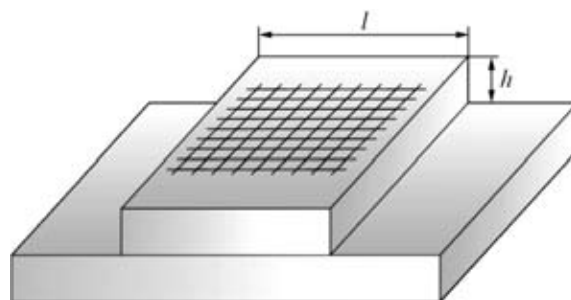


Рис. 1. Внешний вид эталонного изделия

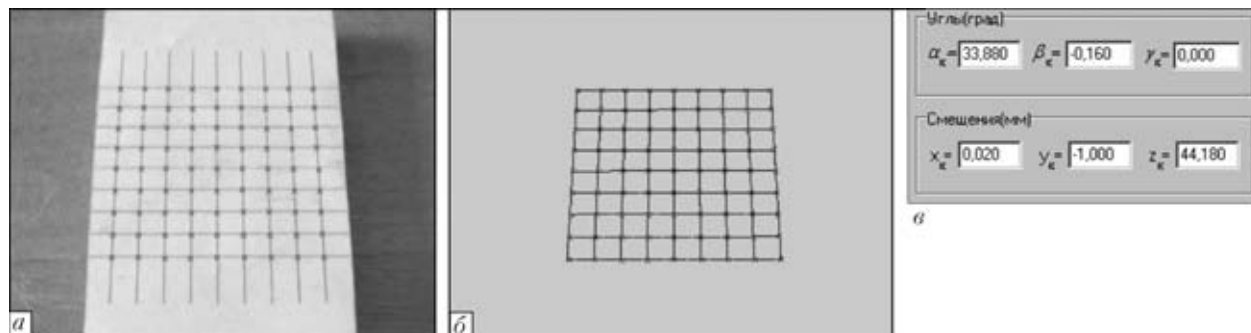


Рис. 2. Визуализация процесса калибровки видеокамеры: *a* — нахождение узловых точек решетки на изображении эталонного изделия; *b* — наложение модели решетки на найденные узловые точки сетки реального изображения; *c* — численные результаты идентификации пространственного положения видеокамеры

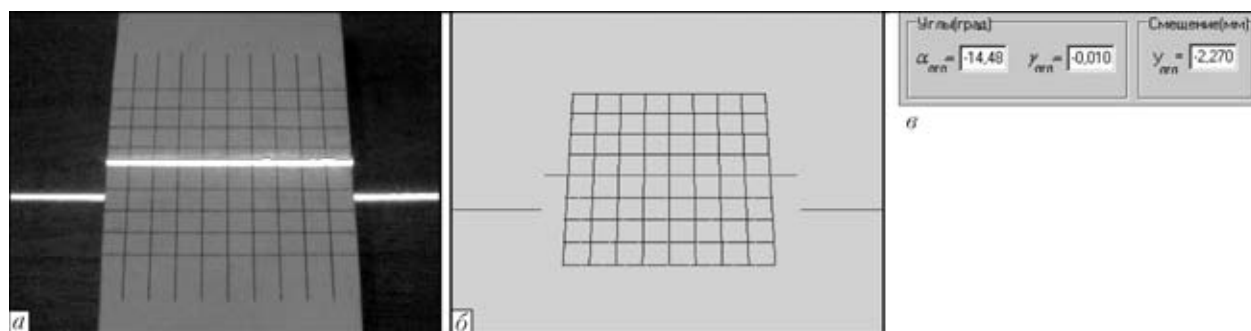


Рис. 3. Визуализация процесса определения положения плоскости излучения: *a* — измеренный контур проекции световой полосы; *b* — модель контура проекции; *c* — численные результаты идентификации положения плоскости излучения

ры в систему координат изображения используется перспективное преобразование [4]. На изображении эталонного изделия производится определение узловых точек сетки (рис. 2). Затем при итеративном изменении параметров $\alpha_k, \beta_k, \gamma_k, x_k, y_k, z_k$, определяющих пространственное положение камеры относительно эталонного изделия, находят такие значения, при которых среднеквадратическое отклонение между координатами узловых точек смоделированной сетки и найденных узловых точек сетки реального изображения будет минимальным.

На следующем этапе процесса калибровки сенсора необходимо определить положение плоскости излучения ЛГЛ относительно эталонного изделия. Формируется матрица преобразования из системы координат ЛГЛ в систему координат эталонного изделия $A_{лгл}$. Как и в случае с видеокамерой, путем итеративного изменения параметров $\alpha_{лгл}, \gamma_{лгл}$ и $y_{лгл}$, определяющих пространственное положение плоскости излучения относительно эталонного изделия, находят такие значения параметров, при которых среднеквадратическое отклонение между координатами точек смоделированного контура проекции и измеренными координатами точек контура будет минимальным (рис. 3).

Таким образом, определены пространственное положение видеокамеры относительно эталонного изделия, положение плоскости излучения ЛГЛ относительно того же эталонного изделия и преобразование из системы координат видеокамеры в систему координат изображения на экране. На основании полученных параметров, определяющих пространственное положение камеры и плоскости

ЛГП относительно эталонного изделия, выполняется объединение видеокамеры, плоскости излучения ЛГП, эталонного изделия и изображения в единую систему. Таким образом, формируется преобразование координат точек контура из двухмерной системы координат изображения на экране в трехмерную эталонного изделия, что позволяет измерять реальное положение любой точки контура относительно центра сетки на поверхности эталонного изделия.

Корректность результатов калибровки сенсора оценивали путем сравнения результатов ручного и программного измерения геометрических размеров нескольких различных объектов. На основании полученных экспериментальных данных сделан вывод, что точность программного измерения геометрических параметров объектов лежит в пределах расчетной, т. е. данный метод калибровки триангуляционных оптических сенсоров дает корректные результаты.

Основные достоинства рассмотренного метода калибровки триангуляционных оптических сенсоров следующие:

в процессе калибровки не требуется изменение взаимного расположения сенсора и эталонного изделия и, как следствие, калибровку несложно провести в производственных условиях после монтажа сенсора на сварочной установке;

откалиброванный сенсор представляет собой довольно точное измерительное устройство (в данном случае при разрешающей способности изображения 400×300 пикселей погрешность измерения не превышает $\pm 0,2$ мм).



Разработанная математическая модель и построенный на ее основании инструментарий позволяют калибровать триангуляционные оптические сенсоры, предназначенные для работы в составе автоматизированных сварочных установок, что подтверждается результатами экспериментального исследования.

Procedure of calibration of triangular optical sensors used in automation of welding processes has been offered. It allows calibration of sensors after their assembly into welding equipment under the industrial conditions

Поступила в редакцию 23.10.2004

УДК 621.791.669.14/15+519.87

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПО СВАРКЕ ТИТАНА И ЕГО СПЛАВОВ*

А. Б. ЛЕСНОЙ, канд. техн. наук, О. Г. КАСАТКИН, В. Н. ЗАМКОВ, доктора техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены возможности использования специализированного программного обеспечения при сварке титана и его сплавов. Предлагаемая информационная система содержит сведения о способах и режимах сварки стыковых, угловых, тавровых и нахлесточных соединений различных толщин; информацию о сварочных материалах (электроды, проволока, флюсы); справочные сведения о титановых сплавах; возможности выбора титановых сплавов в зависимости от условий эксплуатации сварной конструкции.

Ключевые слова: дуговая сварка, титановые сплавы, информационные системы, свойства сплавов, сварочные материалы

Титан является перспективным конструкционным материалом благодаря своей высокой коррозионной стойкости, прочности и малой удельной плотности. Еще лет десять назад он в основном использовался в ракетно-космической и авиационной технике, военном кораблестроении и других областях военной техники. Сегодня по объему применения в сварных конструкциях титан занимает третье место после стали и алюминия и широко применяется в энергетическом машиностроении, нефтеперерабатывающей промышленности, медицине.

Следует отметить, что объем использования титана в сварных конструкциях в значительной мере определяется технологическими возможностями его сварки. Основные трудности при сварке плавлением титана связаны с его высокой химической активностью. При нагреве свыше 500...600 °С титан начинает насыщаться водородом, кислородом, азотом и другими примесями, которые существенно снижают его пластичность, вязкость, сопротивляемость усталости, способствуют замедленному разрушению сварных титановых конструкций, снижают коррозионную стойкость. Возможность получения качественных сварных соеди-

1. Pat. 5264678 USA. Weld-bead profilometer / B. W. Powell, L. Z. Kennedy, I. A. Burroughsa. — Publ. 23.11.93.
2. Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration // IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence. — 2000. — 22, № 11. — P. 1330–1335.
3. Новиков С. О., Лебедев О. А., Захаренко Г. В. Измерение и исследование трехмерных объектов в условиях неполной информации // Информ. технологии и вычислительные системы. — 2003. — № 2. — С. 61–63.
4. Аммерал Л. Принципы программирования в машинной графике. — М.: Сол Систем, 1992. — 220 с.

нений определяется корректным выбором способа и параметров сварки. Решение этой задачи может существенно облегчить использование специализированного программного обеспечения «Информационная система по сварке титана и его сплавов», разработанного в Институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины.

Предлагаемая информационная система (ИС) содержит информацию о способах и режимах сварки стыковых, угловых, тавровых и нахлесточных соединений титана толщиной 0,8...400 мм. В ИС имеются данные об электронно-лучевой сварке, восьми способах дуговой сварки и трех способах электрошлаковой сварки. В зависимости от вида соединения и толщины металла ИС предлагает пользователю один или несколько подходящих способов сварки. Например, при выборе стыкового соединения (рисунок) ИС выводит информацию об имеющемся диапазоне толщин свариваемых деталей (0,8...400 мм).

После того, как задана толщина свариваемых пластин (3 мм), программа предоставляет список способов сварки, по которым в базе данных имеется информация. В случае, приведенном на рисунке, сварку можно выполнить, например, электронным лучом, механизированной сваркой плавающим электродом под флюсом или в среде инертных газов, ручной или механизированной сваркой ТИГ, сваркой ТИГ погруженной дугой или сваркой с присадочной порошковой проволокой.

Для каждого способа сварки ИС предлагает один или несколько видов разделки кромок. Для каждого варианта разделки кромок программа предоставляет сведения о геометрических параметрах и условиях

* По материалам доклада, заслушанного на Второй международной конференции «Математическое моделирование и информационные технологии в сварке и родственных процессах». — Кацивели, Крым, 13–17 сент. 2004.