



## ПОЛНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ СВАРКИ СОСУДОВ И ТРУБ

Г. ТАКАНО, К. КАМО («Мицубиси Хэви Индастриз», Научно-исследовательский центр Такасаго, Япония)

Рассмотрена проблема обеспечения качества сварных соединений в условиях автоматической сварки по способу ТИГ тонколистовых сосудов и труб. Показано, что альтернативой высокой квалификации и опыта сварщика является применение сварочных машин, использующих разрабатываемые методы считывающего и адаптивного управления. Такие установки могут работать самостоятельно пока только в течение определенного периода работы. Необходимы дальнейшие шаги по созданию логики адаптивного управления режимами сварки с учетом сложности выполняемых работ.

*Ключевые слова:* автоматическая сварка, способ ТИГ, сосуды, трубы, качество соединения, контроль качества, адаптивное управление

Должно было пройти немало времени прежде, чем возникли условия, когда внедрение полностью автоматизированных сварочных технологий стало необходимостью, обусловленной, в первую очередь, безопасностью производства. Сложность в реализации такой задачи сопряжена с необходимостью обеспечивать высокую производитель-

ность труда и качество сварки в условиях текущих изменений квалификации персонала сварщиков. Особенно это становится актуальным тогда, когда многочисленная возрастная группа сварщиков достигает предпенсионного возраста.

Ниже представлены подходы, учет которых необходим при внедрении полностью автоматизированных сварочных технологий применительно к сварке ТИГ.

**Основания для разработки полностью автоматизированной технологии сварки.** Каждое предприятие рано или поздно сталкивается с проблемой старения персонала сварщиков и уменьшения доли молодых специалистов на производстве. В качестве примера на рис. 1 показано распределение сварщиков по возрастным категориям на одном из энергогенерирующих предприятий в Японии. Как видим, самую многочисленную группу составляют сварщики 45–49 лет. Такое неравномерное распределение сварщиков по возрастным группам с точки зрения безопасности организации производства означает, что в ближайшем будущем, когда большая группа сварщиков достигнет пенсионного возраста, предприятие столкнется с серьезной проблемой нехватки квалифицированного

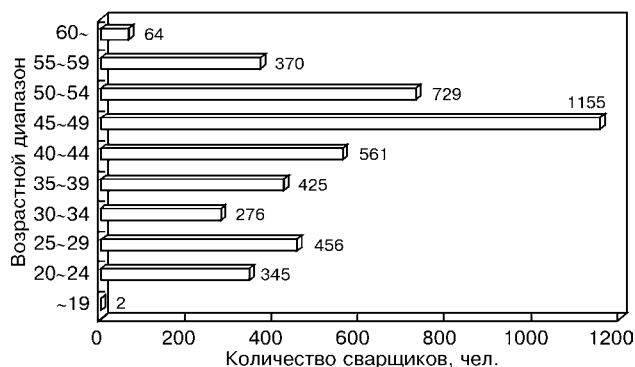


Рис. 1. Возрастное распределение сварщиков, занятых на электростанции Японии на 31.03.2000 г.

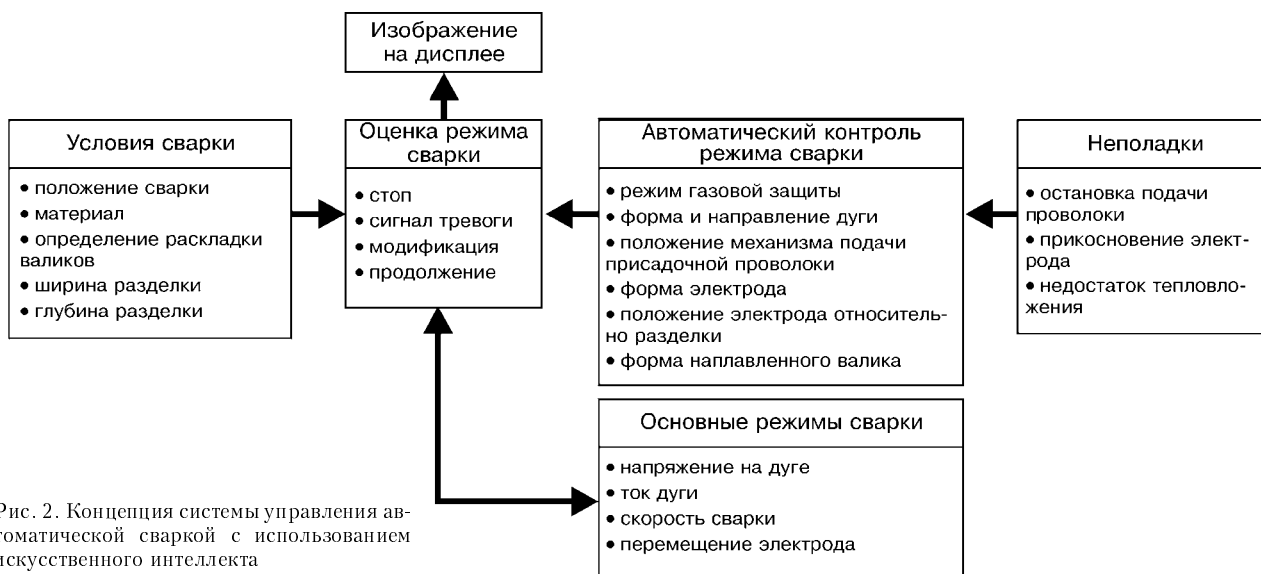


Рис. 2. Концепция системы управления автоматической сваркой с использованием искусственного интеллекта

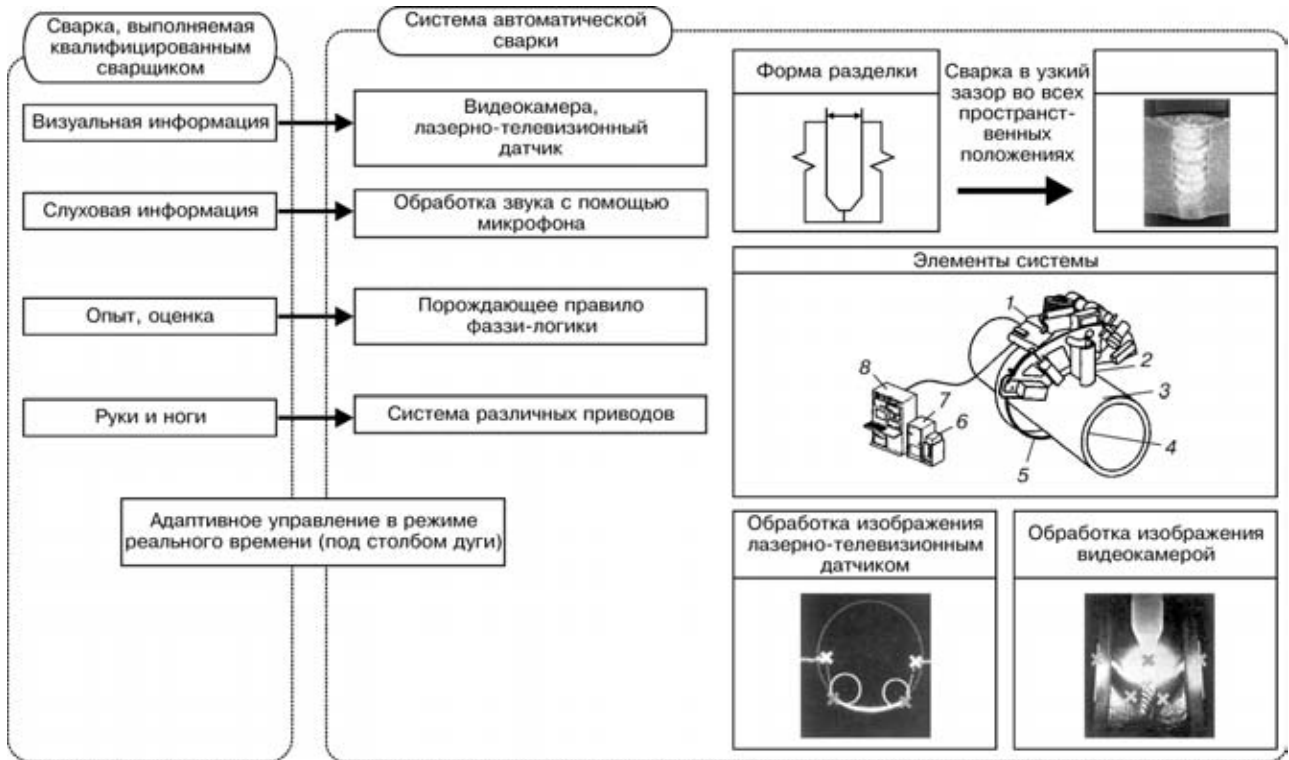


Рис. 3. Концепция процесса сварки во всех пространственных положениях (1 — сварочная головка; 2 — видеокамера; 3 — лазерно-телевизионный датчик; 4 — труба; 5 — направляющий рельс; 6 — система охлаждающей воды; 7 — источник питания; 8 — система управления сваркой)

персонала. Понятно, что эту проблему необходимо решать уже сейчас.

В связи с изложенным выше была поставлена задача разработки и внедрения полностью автоматизированных сварочных технологий, основывающихся на широком использовании сенсорных систем и методов адаптивного управления.

Для решения поставленной задачи разработана концептуальная схема, в соответствии с которой должна была функционировать полностью автоматизированная система управления сваркой (рис. 2). К сожалению, для такой задачи трудно предложить какие-либо классические методы решения. Поэтому постановку задачи разбили на две подзадачи:

определение тех параметров сварочного процесса, за которыми сварщики следят и на что обращают внимание;

выделение тех параметров сварочного процесса, которые сварщики регулируют.

В результате проведенных исследований сварки ТИГ обнаружено, что наиболее часто выполняли регулировку положения электрода и направляющего канала, в то же время режим сварки (ток дуги) регулировали редко. В процессе сварки также требовалось несколько раз производить замену электрода (это характерно только для сварки ТИГ). Отмечено, что регулировка положения направляющего канала, оценка положения электрода и его формы, положение стенок разделки, а также оценка формы сварочной ванны и характера поверхности наплавленного валика выполнялась исключительно на основе визуальной информации. В связи с этим было принято решение о преимуще-

ственном использовании средств технического зрения.

**Автоматическая установка для сварки неповоротных стыков труб.** Эта установка позволяет выполнять сварку кольцевых неповоротных стыков стальных нержавеющих труб диаметром 165...1000 мм и толщиной 7,1...35,0 мм. Стык подготавливается под сварку в форме узкой глубокой разделки (рис. 3). Автоматическая система управления сваркой построена таким образом, чтобы за счет использования различных датчиков и исполнительных механизмов, управляемых компьютерной программой, воспроизвести действия квалифицированного сварщика.

На рис. 4 показана схема реализации задачи обеспечения качества сварки. В предлагаемом подходе выполнена декомпозиция общей задачи управления на ряд функциональных регуляторов. Объект управления также представлен в виде системы более простых объектов. В свою очередь, задача автоматического управления разложена на две: адаптивное управление и контроль качества процесса сварки.

Для обеспечения качественного сварного шва система управления оснащена различными датчиками. Ведущую роль среди них занимает CCD-камера (видеокамера), размещенная на сварочной горелке спереди по ходу сварки. Получаемые от нее видеозображения зоны стыка вводятся в компьютер, где из них формируются оценки положения электрода, стенок разделки, положения проволоки в горизонтальной плоскости, размеров сварочной ванны, износа электрода (рис. 5).



Рис. 4. Функция контроля качества шва и датчики установки для сварки во всех пространственных положениях

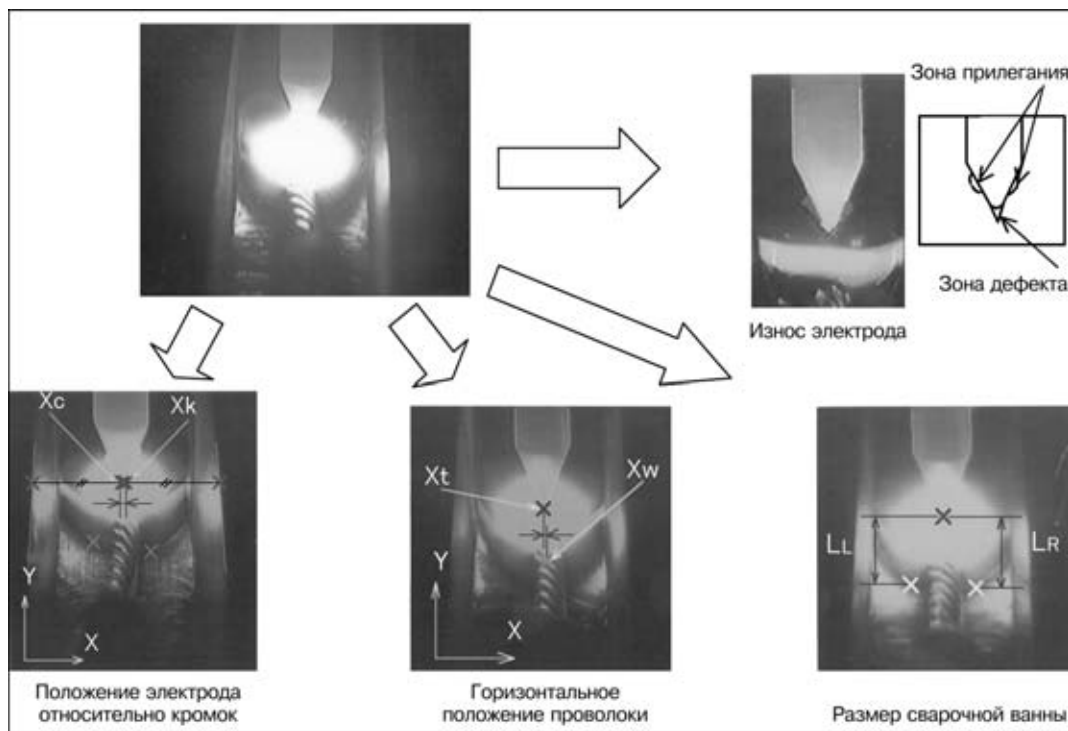


Рис. 5. Информация, полученная с помощью видеокамеры

Другой, лазерно-телевизионный датчик, состоящий из видеокамеры и лазерного прожектора световой полоски, расположен сзади горелки. Видеоизображение, формируемое этим датчиком, используется для оценки краевого угла смачивания, который представляет собой угол между поверхностью наплавленного валика и стенкой разделки (рис. 6).

Информация, полученная с помощью видеокамеры и лазерно-телевизионного датчика, используется для адаптивного управления режимом сварки. Схема работы адаптивного алгоритма показана на рис. 7.

Для подстройки положения электрода используется метод теории фаззи-логики, так называемой нечеткой теории. Скорость коррекции положения

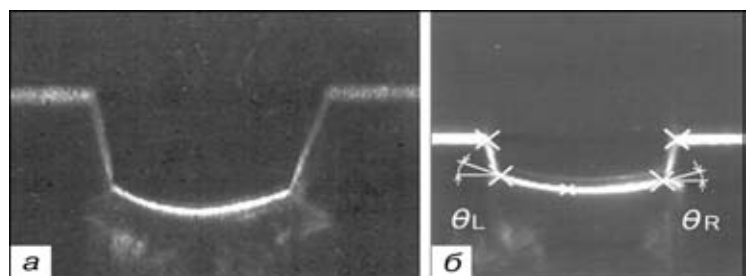


Рис. 6. Изображение, полученное с помощью лазерно-телевизионного датчика (а) и краевого угол смачивания валиков (б)

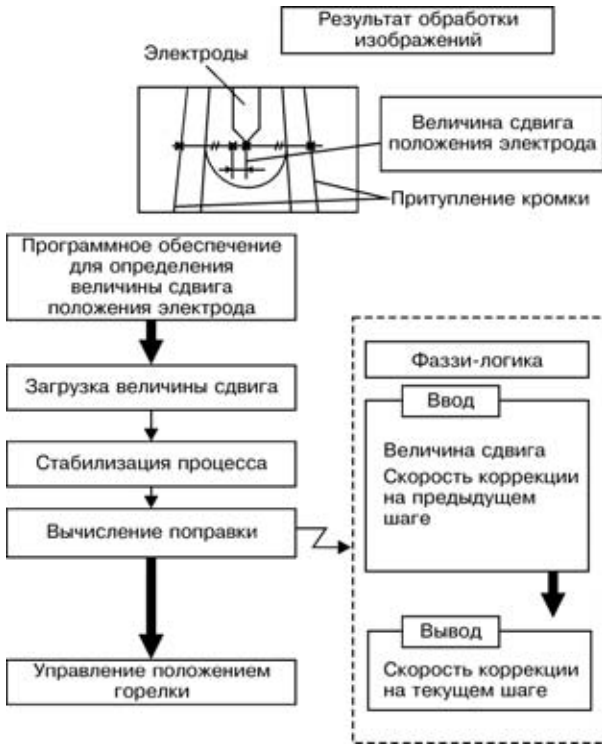


Рис. 7. Метод слежения за линией сварки

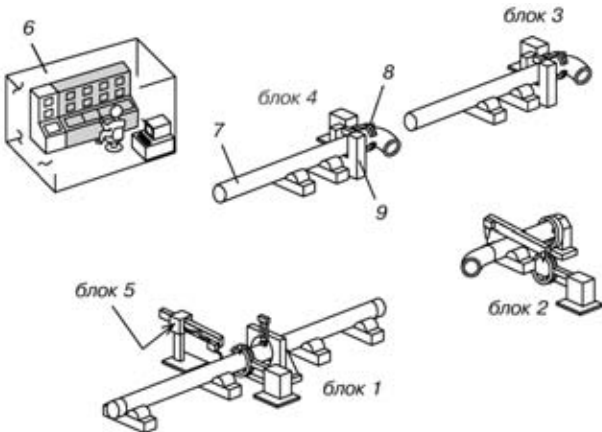


Рис. 8. Схемы элементов сварочной установки с несколькими головками: 1-5 — подсистема; 6 — комната оператора; 7 — труба; 8 — сварочная головка; 9 — зажимное приспособление

электрода на текущем шаге рассчитывается на основании оценки текущего смещения электрода и скорости коррекции на предыдущем шаге.

**Многостовая автоматическая сварочная установка.** Данная сварочная установка позволяет вести групповой процесс автоматической сварки кольцевых стыков труб на тепловых и атомных электростанциях. При этом трубы вращаются, а положение сварочных головок зафиксировано.

На рис. 8 приведена схема организации многостовой сварки с несколькими головками: тип разделки — односторонняя с узким зазором, материал — углеродистая сталь (сталь Cr-Mo); внешний диаметр трубы 139... 558 мм; толщина 18... 100 мм; длина более 1800 мм. Главной особенностью установки является то, что управление пятью подсистемами осуществляется одним оператором из комнаты оператора с использованием

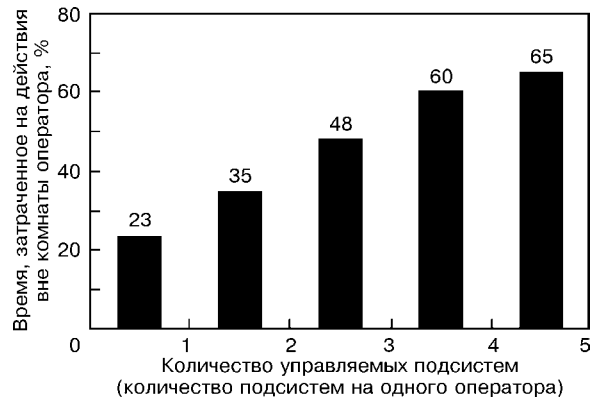


Рис. 9. Зависимость управляемых подсистем от времени, затраченного на действия вне комнаты оператора

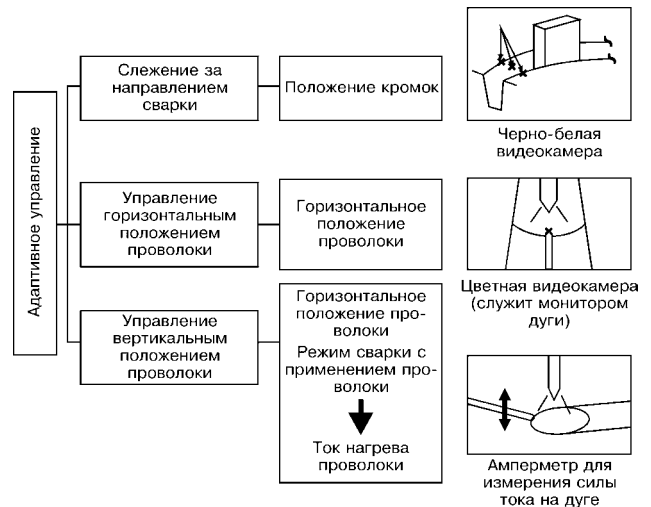


Рис. 10. Управляемые и контролируемые подсистемы и типы датчиков

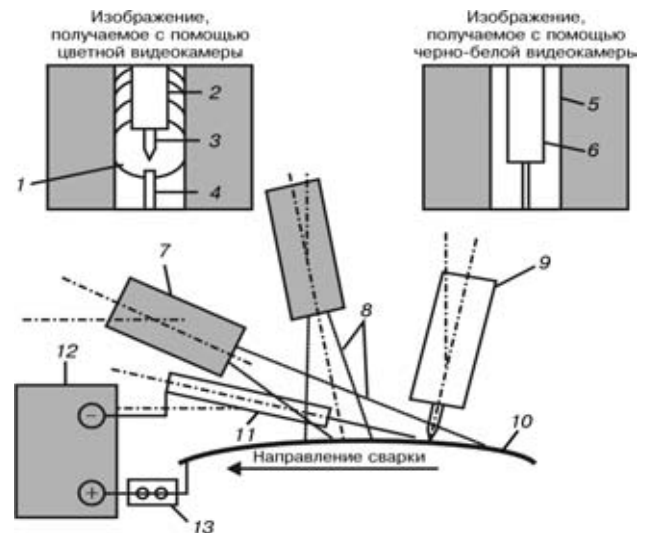


Рис. 11. Схема расположения датчиков: 1 — сварочная ванна; 2 — горелка; 3 — электрод; 4 — проволока; 5 — притупление кромки; 6, 11 — мундштук для проволоки; 7 — цветная видеокамера; 8 — дальность контроля; 9 — сварочная горелка; 10 — труба; 12 — источник нагрева проволоки; 13 — детектор тока нагрева

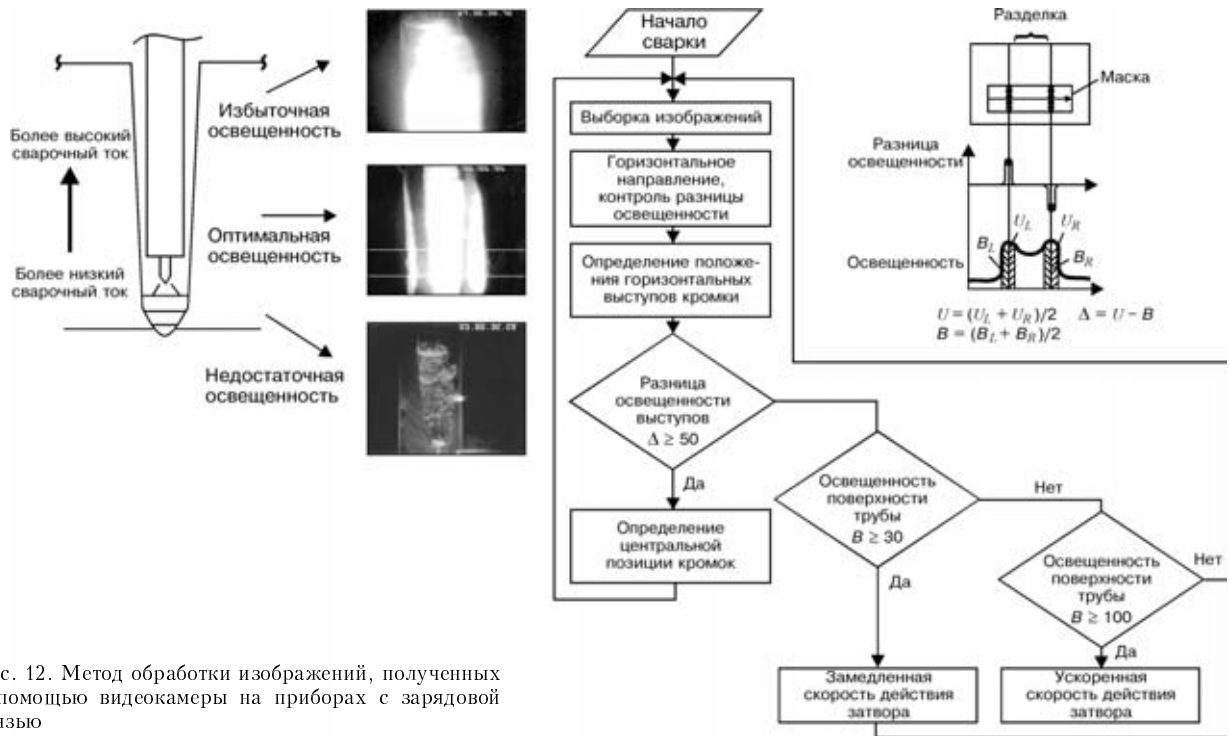


Рис. 12. Метод обработки изображений, полученных с помощью видеокамеры на приборах с зарядовой связью

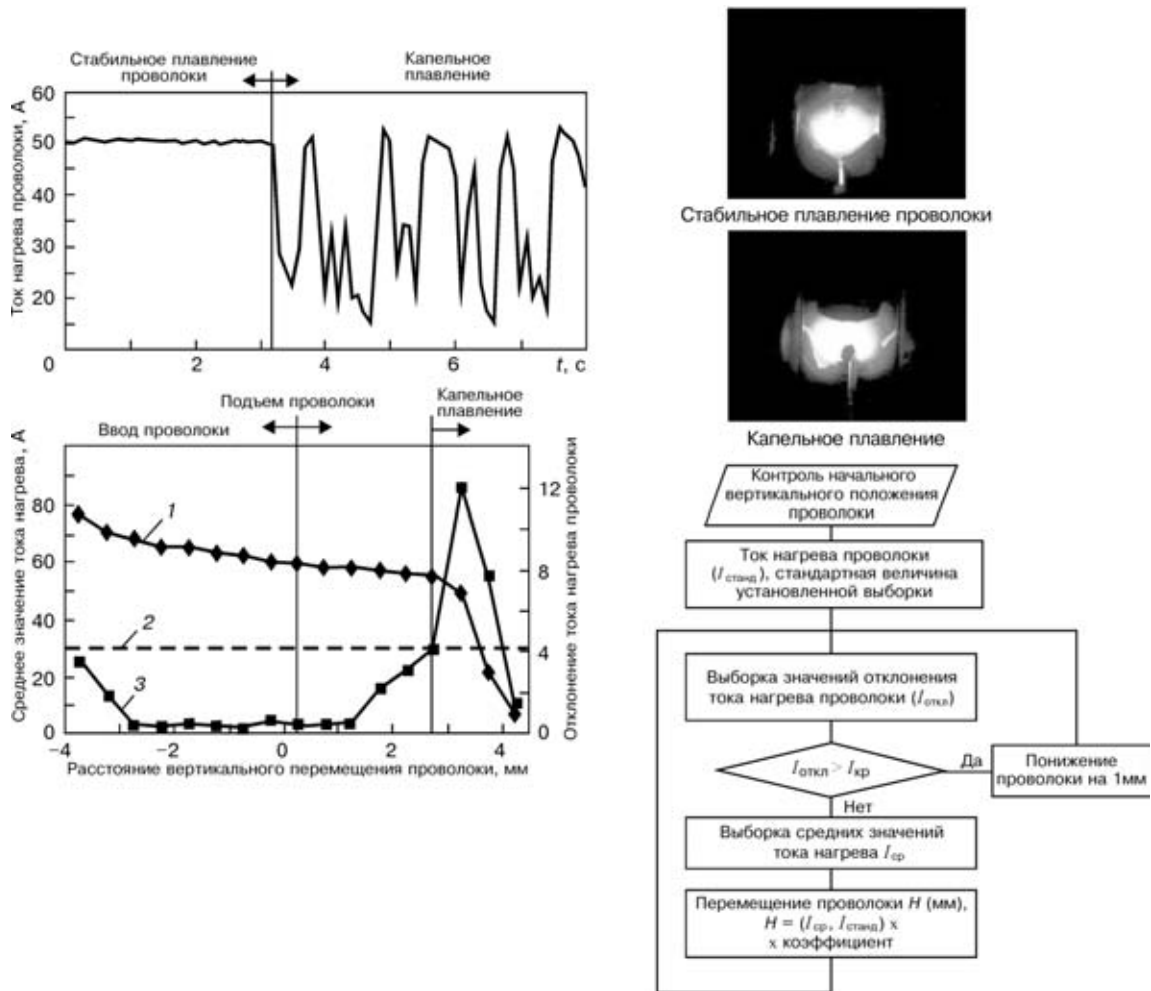


Рис. 13. Метод определения вертикального положения проволоки и электрического тока нагрева проволоки: 1 — среднее значение тока нагрева проволоки; 2 — величина отклонения тока нагрева проволоки; 3 — пороговое значение отклонения тока нагрева проволоки



монитора дуги при сварке ТИГ. Однако если количество сварочных подсистем на одного оператора увеличится, время, проведенное вне комнаты оператора, тоже возрастает при выполнении таких действий, как удаление сваренной трубы, внесение новой и замена вольфрамового электрода (рис. 9). Действительное время, затрачиваемое на контроль режимов сварки, уменьшается на 35 %. Для обеспечения качества сварки даже при этом ограничении выполнялось такое адаптивное управление, как слежение за линией сварки, а также за горизонтальным и вертикальным положением проволоки, которые контролирует оператор (рис. 10).

Метод определения положения кромок с использованием черно-белой видеокамеры на схеме расположения датчиков (рис. 11) показан на рис. 12. Этот метод использует изображение черно-белой видеокамеры и определяет разницу освещенности внутренней (более светлой) и наружной (более темной) кромок путем обработки изображения. Он автоматически регулирует выдержку затвора видеокамеры для получения нужной освещенности в случае изменения режимов сварки. Система слежения за линией сварки используется для поддержания положения, введенного в начале сварки.

Поскольку вертикальное положение проволоки тяжело оценить с помощью выборки изображений, ток нагрева проволоки применяется для контроля ее положения. При этом используется зависимость (стабильность) тока нагрева проволоки от перехода расплавленного металла в сварочную ванну (рис. 13).

**Установка для автоматической сварки внахлестку тонких листов.** Внутреннюю конструкцию подземных резервуаров для хранения сжиженного природного газа формируют способом соединения тонких листов нержавеющей стали с использованием сварки внахлестку.

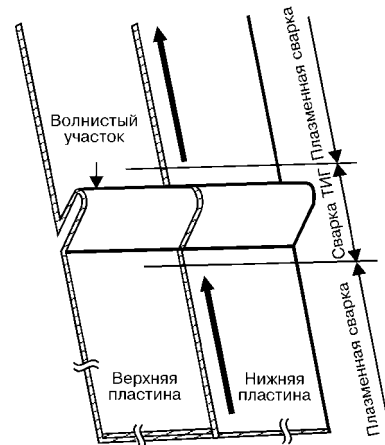


Рис. 14. Пример формы сварного соединения

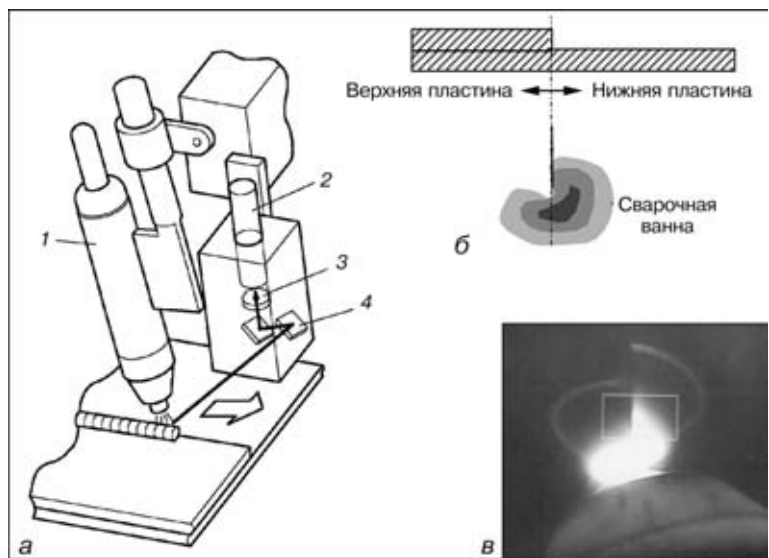


Рис. 15. Расположение датчика и обработка изображения: а — расположение сварочной горелки и датчика (1 — плазменная горелка; 2 — видеокамера; 3 — фильтр; 4 — зеркало); б — обработка изображения для распознавания линии сварки; в — изображение, полученное с помощью видеокамеры

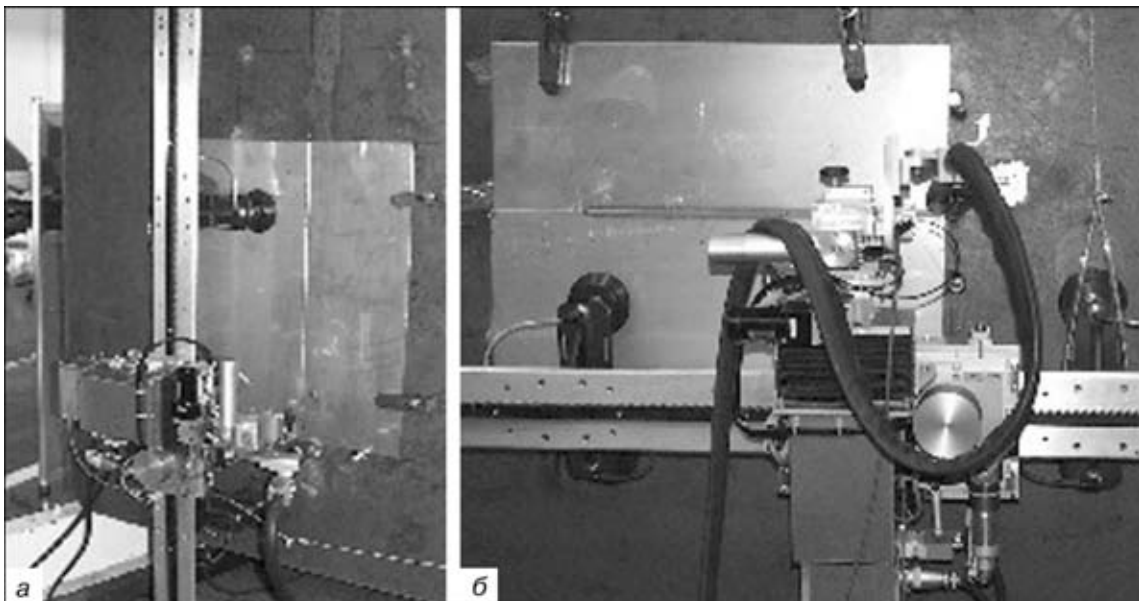


Рис. 16. Выполнение сварки в вертикальном (а) и горизонтальном (б) положении



тку ровных и изогнутых листов (рис. 14). Для выполнения нахлесточных соединений из стали SUS304 толщиной 2 мм была использована высокоскоростная плазменная сварка вертикальных и горизонтальных тонких пластин для изделия с длинной прямой осью шва.

С учетом того, что листы довольно тонкие, при незначительном смещении горелки относительно оси шва происходило образование таких дефектов, как проплавление насквозь, подрез и недостаточное проплавление. Поскольку трудно с точностью зафиксировать установку для автоматической сварки вдоль оси шва, применяли слежение за линией сварки. Такую возможность обеспечивало распознавание линии сварки с помощью видеокамеры, включая шаг, обусловленный разницей между верхней и нижней пластинами. Благодаря такому распознаванию плазменная горелка может с точностью перемещаться вдоль линии сварки (рис. 15).

На рис. 16 показано выполнение сварочных работ в вертикальном и горизонтальном положении.

**Темы дальнейших разработок.** Для того чтобы машины могли выполнять всю регулировку, касающуюся сварки, вместо квалифицированных сварщиков разработаны различные датчики. По

мере того, как высокоэффективные видеокамеры и компьютеры становятся дешевле и доступнее, использование обработки изображений визуальных датчиков в сварочных установках становится более доступным. Эти автоматические сварочные установки могут работать самостоятельно в течение определенного периода времени при определенных условиях. Однако на данном этапе они способны выполнять только простые задачи (например, слежение за линией сварки и определение положения проволоки). Прежде, чем они достигнут уровня контроля режимов сварки, при котором необходимо учитывать все переменные, должны быть разработаны следующие методы:

распознавание трехмерной формы сварочной ванны, что в значительной степени способствует предупреждению образования сварочных дефектов;

«относительность» трехмерной формы сварочной ванны и сварочного дефекта или количественное определение критериев оценки, подобно той, которую делают сварщики;

количественное определение других факторов, помимо сварочной ванны;

логика адаптивного управления режимами сварки для достижения необходимого качества сварки.

The problem of quality assurance of welded joints in the conditions of TIG automatic welding of thin-sheet vessels and pipes is considered. It is shown that the alternative of high skill and experience of welder is the application of welding machines using the methods of read and adaptive control. These machines can operate separately until now only during a certain period of operation. The next steps are necessary for the creation of logic of adaptive control of welding conditions with allowance for the difficulties in fulfillment of jobs.

Поступила в редакцию 23.07.2003