



ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ОТПЕЧАТКОВ ЭЛЕКТРОДА ПРИ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКЕ ТРЕХСЛОЙНЫХ СОТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Я. П. ЛАЗОРЕНКО, инж., Е. В. ШАПОВАЛОВ, канд. техн. наук, Е. С. МЕЛЬНИК, Н. Ф. ЛУЦЕНКО, инженеры,
В. В. ДОЛИНЕНКО, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследованы методы автоматического распознавания отпечатков электрода на цифровых изображениях при точечной сварке трехслойных сотовых конструкций: корреляционный метод, статистический и нейросетевой. Разработаны алгоритмы для распознавания отпечатков электрода на поверхности трехслойной конструкции с помощью оптической сенсорной системы. Показана высокая эффективность разработанных алгоритмов.

Ключевые слова: точечная сварка, дуговая сварка, трехслойные конструкции, техническое зрение, распознавание образцов, статистическое распознавание, геометрическая адаптация, сварочный инструмент, нейронная сеть, обработка изображений

Трехслойные сотовые сварные конструкции, имеющие обычно цилиндрическую форму, широко используются в различных отраслях промышленности. Основу этих конструкций составляют объемные металлические элементы сотового типа, к которым с внешней и внутренней сторон привариваются листы металла. Такие трехслойные сварные конструкции отличаются значительной прочностью при относительно небольшой массе. Приваривание внешнего слоя указанных конструкций выполняется с помощью контактной точечной сварки и не вызывает особых трудностей. Проблема возникает при приваривании последнего слоя, поскольку в данном случае позиционирование сварочной головки осуществляется относительно положений центров отпечатков электрода на внешнем слое конструкции. В настоящее время такое позиционирование выполняют вручную с помощью специальных шаблонов. Оператор производит совмещение шаблона, жестко связанного со сварочной головкой и отпечатками электрода на внешней стороне цилиндра. При этом сварочная головка с внутренней стороны цилиндра устанавливается в позицию, необходимую для выполнения сварки. Указанный способ позиционирования сварочной головки занимает значительное время, в связи с чем сварка крупногабаритных трехслойных конструкций может продолжаться в течение десятка рабочих смен. Кроме того, точность позиционирования сварочной головки в значительной мере зависит от оператора. Повышения количественных и качествен-

ных показателей данного сварочного процесса можно достичь лишь за счет средств автоматизации. При разработке автоматизированных сварочных систем перспективным является использование технического зрения.

Целью данной статьи является исследование эффективности методов автоматического распознавания отпечатков электрода на цифровых изображениях поверхности внешнего слоя трехслойных сотовых конструкций.

Предварительная обработка исходных изображений. Отпечатки электрода на исходных полутоновых цифровых изображениях поверхности внешнего слоя конструкции, полученных с помощью телевизионного видеосенсора, имеют круглую форму и яркость, меньшую, чем область основного металла (рис. 1, а). При изменении условий съемки на исходных цифровых изображениях изменяются такие их характеристики, как общий уровень яркости и его диапазон, контрастность контуров отпечатков электродов, наличие световых бликов. В связи с этим для корректного распознавания отпечатков электрода в разработанных алгоритмах сначала осуществляется предварительная обработка исходных цифровых изображений, которая включает три процедуры: выделение контуров объектов; линейное контрастирование; бинаризацию.

Выделение контуров объектов реализуется с помощью фильтра «лапласиан от гауссиана» [1, 2]. После обработки этим фильтром область фона имеет значение яркости, близкое к нулю, а отпечатки электрода характеризуются высоким уровнем яркости. Линейное контрастирование нормализует полученное изображение по яркости посредством линейного расширения его динами-



ческого диапазона до полного динамического диапазона.

Процедура бинаризации представляет собой разметку точек (пикселей) цифрового изображения на две группы: отпечатки электродов и область основного металла. Точкам цифрового изображения, которым соответствуют отпечатки электродов, присваивается метка 1, а точкам, которым соответствует область основного металла, — метка 0. Результатом такой разметки является бинарное (двухуровневое) изображение. В настоящей работе процедура бинаризации осуществлялась с помощью пороговой обработки, которая состоит в сравнении яркости заданной точки с некоторым пороговым значением. Если значения яркости точки изображения выше его, то ей присваивается метка 1, а если ниже, то — 0. Значение порога яркости T для заданного цифрового изображения вычисляли по формуле

$$T = M + k\sigma, \tag{1}$$

где M — среднее арифметическое значение яркости цифрового изображения; k — регулировочный параметр; σ — среднеквадратическое отклонение яркости изображения. Пример бинарного изображения приведен на рис. 1, б, где отпечатки электродов выделены белым цветом, а область основного металла — черным. Последующее распознавание искомых объектов осуществляется по бинарному изображению.

Методы распознавания отпечатков электрода. Кроме отпечатков электрода на бинарных изображениях, часто ошибочно выделяют различные помехи, возникающие в связи с тем, что на поверхности трехслойной сотовой конструкции присутствуют царапины, темные пятна и световые блики. Задача распознавания отпечатков электрода сводится к разделению выделенных на бинарном изображении объектов на два класса — отпечаток электрода и помеха. Алгоритм распознавания должен также определять центр найденного отпечатка электрода.

В настоящей работе исследовали три метода распознавания отпечатков электрода на поверхности трехслойной сотовой конструкции: корреляционный, статистический и нейросетевой.

Корреляционный метод распознавания образов [1–3] основан на сопоставлении распознаваемого объекта с эталонными объектами с помощью анализа функции взаимной корреляции. В разработанном корреляционном алгоритме распознавание искомых

объектов выполняется путем сравнения обнаруженного объекта с эталонным изображением отпечатка электрода. В качестве эталона использовали одно из изображений отпечатка электрода, приведенное посредством предварительной обработки к бинарному виду. В данном алгоритме применяли нормированную функцию корреляции, которая вычислялась для эталонного изображения отпечатка электрода и заданного прямоугольного фрагмента бинарного изображения, содержащего распознаваемый объект. Нормированная функция корреляции R вычисляется по формуле

$$R = \frac{\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} I(i, j)E(i, j)}{\left[\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} I^2(i, j) \right]^{1/2} \left[\sum_{j=0}^{N-1} \sum_{i=0}^{M-1} E^2(i, j) \right]^{1/2}}, \tag{2}$$

где M и N — соответственно ширина и высота анализируемого фрагмента изображения I и эталонного изображения зоны точечной сварки E ; i, j — соответственно индексы строк и столбца.

Решение относительно того, является ли распознаваемый объект отпечатком электрода, принимается на основе значения функции взаимной корреляции в точке ее локального максимума. Если это значение превышает некоторое заданное пороговое значение, объект классифицируется алгоритмом распознавания как отпечаток электрода, в противном случае — как помеха. Согласно разработанному алгоритму, центр отпечатка электрода расположен в точке локального максимума функции взаимной корреляции.

При статистическом методе распознавания классификация выделенных на этапе бинаризации объектов (отпечаток электрода и помеха) выполняется на основе анализа значений информативных признаков, вычисляемых для бинарных изображений. Классификация представляет собой задачу разбиения пространства признаков на две области, соответствующие двум указанным классам объектов. Для решения этой задачи был при-

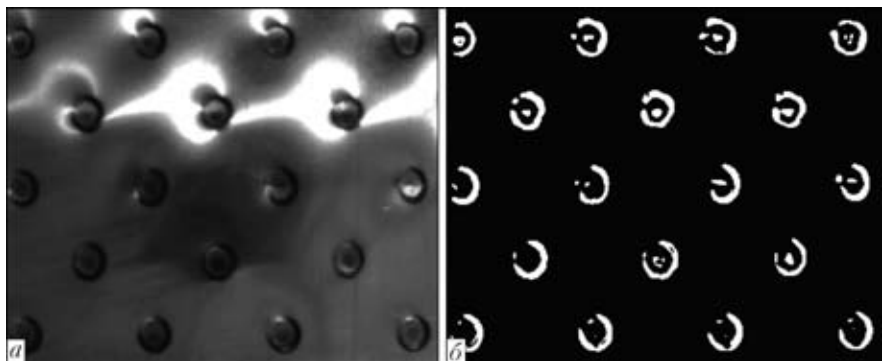


Рис. 1. Предварительная обработка цифровых изображений поверхности внешнего слоя конструкций с отпечатками электрода исходного (а) и бинарного, полученного в результате предварительной обработки (б)

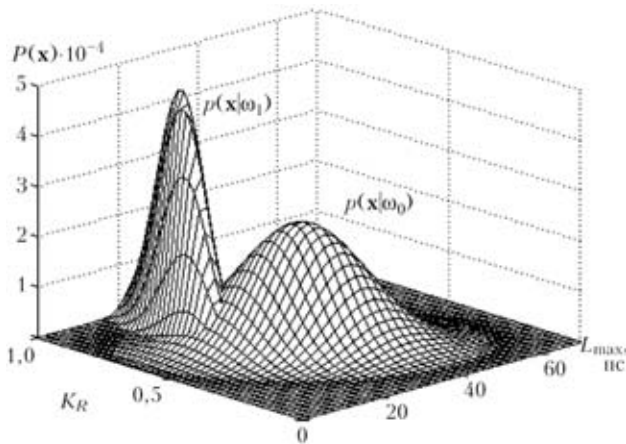


Рис. 2. Условные плотности распределения вероятности $p(\mathbf{x} | \omega_0)$ и $p(\mathbf{x} | \omega_1)$

менен байесовский классификатор [4, 5], обеспечивающий наименьшую ошибку распознавания, в котором исходными данными для принятия решения являются условные плотности распределения вероятности информативных признаков, вычисляемые для каждого класса объекта. В случае, когда классификация выполняется для двух классов ω_0 (помеха) и ω_1 (отпечаток электрода), объект, описанный вектором признаков \mathbf{x} , классифицируется как принадлежащий к классу ω_1 , если выполняется условие

$$p(\mathbf{x} | \omega_1)P(\omega_1) > p(\mathbf{x} | \omega_0)P(\omega_0), \quad (3)$$

где $p(\mathbf{x}, \omega_i)$ — условная плотность распределения вероятности вектора признаков \mathbf{x} для класса ω_i ; $P(\omega_i)$ — априорная вероятность того, что обнаруженный объект принадлежит классу ω_i . Если условие (3) не выполняется, то принимается решение, что объект принадлежит классу ω_0 . В данном исследовании сделано допущение, что плотности вероятности имеют нормальное распределение.

В разработанном статистическом алгоритме распознавания использованы следующие три признака: площадь объекта S (количество пикселей, из которых состоит объект на бинарном изображении), наибольшая длина объекта L_{\max} , коэффициент сходства с окружностью K_R , который вычисляется по формуле

$$K_R = \frac{N_{R_{\max}}}{S}, \quad (4)$$

где $N_{R_{\max}} = \max N_R(x, y)$; $N_R(x, y)$ — количество точек (пикселей) объекта, находящихся на расстоянии $R \pm K_1 R$ от точки с координатами $(x, y \in W_R)$, коэффициент $K_1 \ll 1$; R — радиус окружности, с которой сравнивается объект; W_R — квадратная область изображения размером $R_0 \times R_0$, центр ко-

торой находится в геометрическом центре тяжести объекта; R_0 — средний радиус отпечатка электрода, значение которого определяется как среднее арифметическое радиусов отпечатков из обучающего множества; $N_R(x, y)$ вычисляется для всех значений R , лежащих в диапазоне $R_0 \pm K_2 R_0$, где коэффициент $K_2 \ll 1$. Центр найденного отпечатка электрода определялся алгоритмом как лежащий в точке (x, y) с максимальным значением $N_R(x, y)$ в области изображения W_R , для которой рассчитан коэффициент K_R (4). Соответственно для вектора признаков \mathbf{x} выбрана следующая структура:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} S \\ L_{\max} \\ K_R \end{bmatrix}.$$

Для построения условных плотностей распределения вероятности использовали набор бинарных изображений отпечатков электродов и помех. Условные плотности распределения вероятности $p(\mathbf{x} | \omega_0)$ и $p(\mathbf{x} | \omega_1)$ для объектов (отпечатков электрода и помех) с площадью $S = 120$ точек приведены на рис. 2.

В *нейросетевом методе* распознавания отпечатков электрода используется многослойная искусственная нейронная сеть [5–8] с прямым распространением сигнала. На вход нейронной сети подается изображение распознаваемого объекта, на выходе она выдает оценку вероятности того, что распознаваемый объект является отпечатком электрода. Если эта вероятность больше некоторого порогового значения, принимается решение, что данный объект является отпечатком электрода.

Входной вектор нейронной сети формируется на основе бинарного изображения объекта. Изображения, подаваемые на вход сети, имеют фиксированный размер 17×17 пс. Средний размер зон точечной сварки для разных исходных изображений может существенно изменяться, поэтому перед распознаванием объекта выполняется масштабирование его бинарного изображения до размера 17×17 пс.

Нейронная сеть, используемая в разработанном алгоритме распознавания зон точечной сварки, состоит из трех слоев нейронов: входного I , скрытого H и выходного O (рис. 3). Входной слой, имеющий $17 \times 17 = 289$ нейронов ($I_1 \dots I_{289}$), выполняет функцию связи входных сигналов с нейронами скрытого слоя и передает входные сигналы без преобразования. Скрытый слой, состоящий из 10 нейронов $H_1 \dots H_{10}$, выполняет нелинейное преобразование входных сигналов согласно функции активации. В качестве функции активации использована сигмоидная функция. Выходной слой нейронной сети, состоящий из одного нейрона O_1 , формирует выходной сигнал сети.

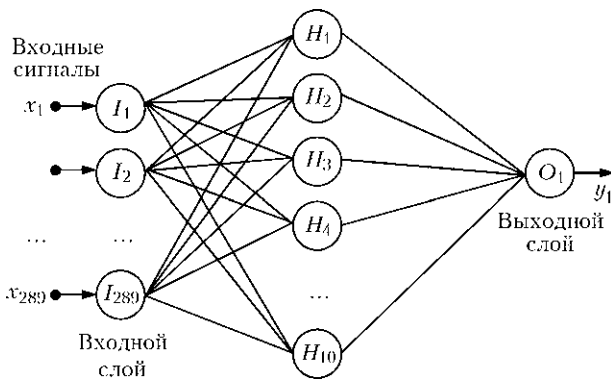


Рис. 3. Многослойная искусственная нейронная сеть с прямым распространением сигнала

Для обеспечения корректной работы нейронной сети необходимо правильно установить значения весов нейронов, для чего методом обратного распространения ошибок [7] было проведено обучение на выборке, представляющей собой набор бинарных изображений отпечатков электрода.

Исследование эффективности методов распознавания. Эффективность исследуемых методов распознавания отпечатков электрода оценивали экспериментально посредством проверки их испытания на тестовых изображениях. В качестве тестовых образцов использовали набор из девяти цифровых изображений, которые существенно отличались друг от друга общим уровнем и диапазоном яркости. Для них характерно наличие искажений яркости, из-за световых бликов, а также низкая контрастность контуров искомого объектов. Исследуемые алгоритмы реализованы в виде программного модуля на языке программирования C++. В качестве критерия эффективности распознавания использовали процент ошибок, равный отношению числа ошибок распознавания к общему числу объектов на тестовых изображениях.

В результате проверки разработанных алгоритмов распознавания на тестовых изображениях установлено, что они характеризуются достаточно высокой эффективностью. Пространственные положения искомого объектов все предложенные алгоритмы определяют довольно точно. При распознавании тестовых изображений разработанными алгоритмами было сделано 4...9 % ошибок. Наиболее эффективным оказался алгоритм распознавания с помощью искусственной нейронной сети (4 % ошибок). Несколько меньшую эффективность продемонстрировал алгоритм статистического распознавания (6 % ошибок). Наименее эффективным оказался корреляционный алгоритм (9 % ошибок). Как правило, ошибки возникали при распознавании мало контрастных объектов, контуры которых плохо выделяются на фоне основного металла. Причиной ошибок является несовершенство аппаратуры для получения исход-

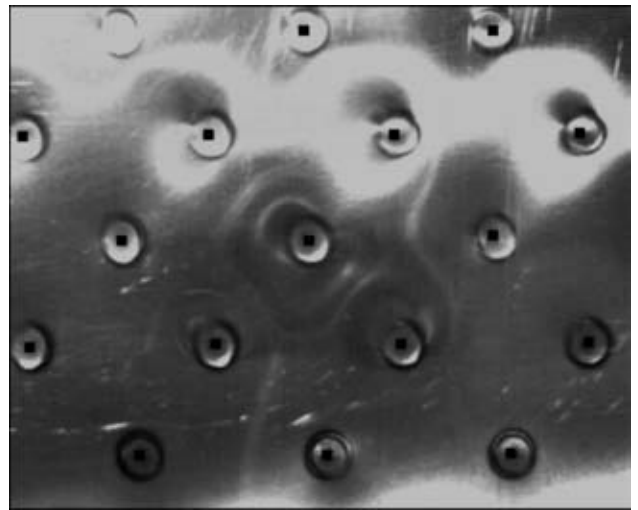


Рис. 4. Результат распознавания отпечатков электрода с помощью статистического метода (черные квадраты — центры отпечатков электрода)

ных изображений. На рис. 4 приведено цифровое изображение, на котором отпечатки электрода распознавали с помощью статистического метода.

Алгоритм коррекции ошибок распознавания. Для коррекции ошибок распознавания отпечатков электрода разработан алгоритм, который выявляет помехи, ошибочно принятые за отпечатки электрода, и определяет координаты центров отпечатков, не обнаруженных при распознавании. Принцип работы данного алгоритма основывается на априорных данных о характере взаимного расположения отпечатков электрода на поверхности трехслойной конструкции (рис. 5).

Таким образом, рассмотренные методы автоматического распознавания отпечатков электрода являются достаточно эффективными. С помощью средств геометрической адаптации, реализованных на основе предложенных методов распозна-

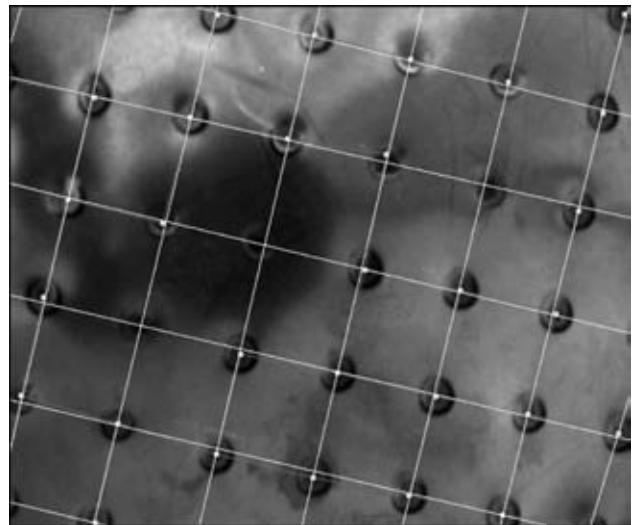


Рис. 5. Определение координат центров отпечатков электрода с помощью алгоритма коррекции ошибок распознавания (в узлах сетки, состоящей из белых линий, находятся центры искомого отпечатков электрода)



вания отпечатков электрода, можно значительно повысить скорость и точность позиционирования сварочной головки при сварке трехслойных сотовых конструкций. Результаты настоящей работы могут быть использованы для разработки автоматизированных систем точечной сварки трехслойных конструкций.

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2006. — 1072 с.
2. Прэнтт У. Цифровая обработка изображений / Пер. с англ. — М.: Мир, 1982. — 312 с.
3. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учеб. пособие / И. С. Грузман, В. С. Киричук,

В. П. Косых и др. — Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2000. — 168 с.

4. Фукунага К. Введение в статистическую теорию распознавания образов / Пер. с англ. — М.: Наука, 1979. — 368 с.
5. Michie D., Spiegelhalter D., Taylor C. Machine learning, neural and statistical classification. — New York: Ellis Horwood, 1994. — 289 p.
6. *Нейрокомпьютеры* в системах обработки изображений / Под ред. А. И. Галушкина. — Кн. 7. — М.: Радиотехника, 2003. — 192 с. — (Нейрокомпьютеры и их применение. Науч. сер.).
7. Калан Р. Основные концепции нейронных сетей / Пер. с англ. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2003. — 288 с.
8. Форсайт Д. А., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход / Пер. с англ. — М.: «Вильямс», 2004. — 987 с.

Methods for automatic recognition of electrode prints in digital images during spot welding of three-layer honeycomb structures, i.e. of the correlation, statistical and neuron network types, have been investigated. Algorithms have been developed for recognition of electrode prints on the surface of a three-layer structure using an optical sensor-based system. The high efficiency of the developed algorithms is shown.

Поступила в редакцию 07.10.2008

Вышел в свет очередной (№ 21) выпуск журнала фирмы «Fronius» Weld+Vision на русском языке

От редактора 3-6

Связь человек-машина с точки зрения философии и научных исследований

Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы 7-11

Новое поколение сварочных роботов
Сферы применения СМТ расширяются

Компания 12-13

35-летний опыт в области автоматизированных сварочных систем

Кратко и по существу 14-15

Новости от «Fronius»

Практические примеры 16-19

Полная автоматизация на фирме KTM
Сварочная фирма-подрядчик HABS для создания сложных соединений использует СМТ

Компания 20-21

Учимся сварке виртуально

Информация для путешественников 22-23

Волшебный Стамбул: плавильный котел культур



По вопросам заказа просьба обращаться в редакцию журнала «Автоматическая сварка»
Тел./факс: (38044) 528-34-84, 529-26-23, 528-04-86; E-mail: journal@paton.kiev.ua

СОСТОЯНИЕ ПРОИЗВОДСТВА СВАРОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РОССИИ

З. А. СИДЛИН, д-р техн. наук (ООО «ТЕХПРОМ», г. Москва, РФ)

Рассмотрено современное состояние производства сварочных материалов в России. Отмечены положительные тенденции в этом секторе экономики за последние годы. Наряду с ними существуют проблемы, связанные с фальсификацией на рынке сварочных материалов, обеспечением стабильности качества их, квалификацией обслуживающего персонала, необходимостью повышения качества сырьевых материалов.

Ключевые слова: сварочное производство, сварочные материалы, покрытые электроды, положительные факторы, качество, сырье

Производство сварочных материалов в России, в первую очередь покрытых электродов, развивается достаточно успешно. Известно, что применение сварочных материалов коррелирует с потреблением стали, а так как по последнему показателю Россия существенно (более чем в 2 раза) отстает от экономически развитых стран, то соответственно следует оценивать и перспективы отечественного рынка стали и сварочных материалов [1].

Согласно данным Росстата, выпуск сварочных электродов в 2007 г. по сравнению с 2006 г. вырос на 10,2 % и составил 183,6 тыс.т. Электроды по-прежнему составляют основную долю сварочных материалов (около 78 %), что соответствует уровню механизации сварочных процессов в Индии. Выпуск сварочной проволоки (помимо учтенной в составе электродов) составляет 35 тыс. т, флюсов — 17 тыс. т и порошковой проволоки — 5 тыс. т. Видно, что соотношение долей различных сварочных материалов далеко от современного уровня развития сварочной техники. Можно отметить, что в развивающемся Китае доля ручной дуговой сварки снизилась уже до 63,4 % [2]. Ситуация со сварочными флюсами улучшается благодаря организации их производства на заводе «ЭСАБ-СВЭЛ» в С.-Петербурге, а также намечающемуся запуску в 2009 г. второй очереди производства керамических флюсов на Челябинском трубопрокатном заводе с доведением объема выпуска флюсов до 14 тыс. т в год. Выпуск омедненной сварочной проволоки возрос на 11 тыс. т в год в связи с пуском в 2008 г. линии на Орловском заводе «Северсталь-метиз». По оценке транснациональной консалтинговой компании «Frost and Sullivan» основным сегментом рынка сварочной техники в России являются сварочные

материалы, которые в стоимостном выражении составляют 65 % его объема [3].

Положительную динамику роста объемов выпуска электродов демонстрируют ведущие электродные предприятия, расположенные в различных регионах страны (таблица). Суммарный объем выпуска этих предприятий составляет 93...96 % общегосударственного. Особенно откровенно, что рост происходит, несмотря на закрытие в последние годы целого ряда длительно функционировавших электродных производств, в том числе крупных (10...60 тыс. т в год). Большинство закрытых производств являлись высокочрезвычайно затратными, технически устаревшими и выпускали низкокачественную массовую продукцию, спрос на которую постоянно уменьшался. Однако имеющихся на сегодня мощностей, в том числе вновь введенных и модернизированных, вполне достаточно для обеспечения существующей потребности в электродах. Доля импортных электродов на российском рынке невелика и в 2006 г. составила 13,6 тыс. т (8,2 %) [4].

В то же время произошло укрепление ряда предприятий средней мощности (до 10 тыс. т в год), отличающихся большой мобильностью и возможностями диверсификации производства (Сычевский электродный завод, Электродный завод, С.-Петербург, Межгосметиз-Мценск, СЗСМ, Волгодонский электродный завод и др.), а также небольших заводов, выпускающих спецэлектроды (Завод сварочных материалов, г. Березовский), «Электрод Сервис», Московская обл. и др.), занимающихся постоянной модернизацией производства.

За последнее время существенно уменьшился средневзвешенный диаметр как выпускаемых и применяемых электродов, так и легированной сварочной проволоки для механизированной сварки (доля проволоки 0,8...1,6 мм составляет 64 %).

Положительным фактором, способствующим повышению качества выпускаемых сварочных материалов, послужил переход высококвалифицированных кадров с опытом работы из вузов и НИИ



непосредственно на производство: ЗСМ (группа кандидатов технических наук под руководством А. Н. Балина, ЛЭЗ (проф. Ю. М. Белов), ЛОЭЗ (канд. техн. наук И. С. Иоффе) и др.

К другим положительным тенденциям, проявляющимся на внутреннем рынке России, следует отнести улучшение точности изготовления, качества зачистки торцов, внешнего вида и упаковки электродов, внедрение их поштучной маркировки, увеличение объемов выпуска сварочной омедненной проволоки на еврокассетах с рядной послойной намоткой и пр.

Несомненно важным является также увеличение ассортимента источников питания и улучшение их характеристик, расширяющих технологические возможности существующей номенклатуры электродов.

Все изложенное выше сегодня обеспечивает доминирование на внутреннем рынке продукции российских производителей при достаточно низкой доле импорта. Однако накопленные в производстве сварочных материалов проблемы, частично перешедшие из предыдущего времени, а также вновь появившиеся, требуют периода оперативного разрешения для поддержания национального производителя.

Одним из самых серьезных моментов для изготовителей и потребителей электродов является идентификация товара для обнаружения и (или) предупреждения фальсификации. В сварочной технике различные электроды известны, главным образом, по своим марочным наименованиям, которые установлены технической документацией организаций-разработчиков (изготовителей). В бывшем СССР и на постсоветском пространстве в буквенном обозначении марки электродов в закодированном и не охраняемом законом виде, как

правило, представлено наименование организации-разработчика, который в большинстве случаев не является изготовителем. По существовавшему законодательству передача нормативно-технической документации от разработчика к изготовителю чаще всего осуществлялась безвозмездно — «в порядке оказания технической помощи». Поэтому электроды серий АНО, МР, ОЗС, ОЗЛ, ЦТ, ЭА и т.д. в настоящее время выпускают, как правило, без надзора разработчиков. Более того, известны случаи, когда документация на электроды, иногда даже в виде сборников, распространяется на рыночной основе посторонними организациями и физическими лицами. Кроме того, проводимая предприятиями-изготовителями без ведома организаций-разработчиков модернизация существующих марок направлена, главным образом, на снижение себестоимости электродов, а часто в ущерб их качественным характеристикам. В результате этого, а также из-за существенной разницы в техническом уровне различных производств, выпускающих формально электроды одних и тех же марок, электроды, имеющие одинаковое марочное наименование, но изготовленные разными производителями, могут существенно отличаться по своим свойствам. Хотя к настоящему времени часть этих фирменных наименований в России (и Украине) запатентованы (причем далеко не всегда авторами или их законными представителями), на практической деятельности изготовителей это никак не отразилось [5].

С целью идентификационного выделения своей продукции среди аналогичной ряд предприятий в настоящее время вводит двойные марочные наименования, дополненные обозначениями заводов. Идет также цивилизованный процесс появления настоящих фирменных брендов.

Изготовители электродов в своей практической деятельности неоднократно сталкиваются с фальсификацией поставляемых сырьевых материалов и сварочной проволоки (замена сортов и марок, подделка сертификатов качества и происхождения и т. д.) Но и сами изготовители электродов из коммерческих соображений могут поставлять фальсифицированные электроды (более дешевые ильменитовые под видом рутиловых, с существенно измененным по сравнению с присущим марке составом покрытия, изготовленные на проволоке, не соответствующей нормативной документации и т. д.). Применительно к электродам, являющимся ответственным видом продукции, обеспечивающим надежность и безопасность свариваемых объектов, та-

Выпуск электродов в России по регионам, тыс. т

Регионы	2005	2006	2007	2007/2006, %
Россия, всего, в т. ч.	158,1	166,6	183,6	110,2
г. Москва	31,6	36,4	43,9	120,5
Орловская обл.	26,3	33,3	31,8	95,3
г. С.-Петербург	15,7	18,4	23,1	125,4
Ростовская обл.	12,5	16,7	17,6	105,7
Челябинская обл.	13,4	12,1	13,1	108,4
Костромская обл.	6,0	8,0	10,0	124,2
Тюменская обл.	10,0	9,9	9,3	93,6
Смоленская обл.	5,2	5,7	6,6	114,3
Свердловская обл.	5,6	4,2	5,8	136,6
Нижегородская обл.	3,8	4,9	4,8	97,5
Пензенская обл.	3,8	3,7	3,9	104,3
Курганская обл.	3,4	3,2	2,9	89,8
Московская обл.	2,5	2,4	2,6	106,1

кая фальсификация недопустима. Тем более, что на предприятиях, не располагающих специалистами достаточной квалификации и необходимым контрольно-испытательным оборудованием, изменения в известные марки вносят, ориентируясь часто на внешние признаки электродов и только некоторые из показателей их сварочно-технологических свойств. Проблема фальсификации характерна для всего рынка России и СНГ в целом, борьбу с ней необходимо вести в первую очередь законодательно на государственном уровне.

В то же время фальсификацию не следует путать с «товарами-заменителями». Например, электроды с ильменитовым покрытием являются полноценной продукцией, в ряде сфер применения успешно заменяют рутиловые электроды, но на их маркировке, в сертификатах, товаросопроводительных и информационных документах должно быть указано их подлинное наименование, а цена соответствовать их качеству и происхождению.

По данным упомянутой ранее консалтинговой компании «Frost and Sullivan» расходные материалы российского производства лишь несколько уступают зарубежным по сварочно-технологическим свойствам и дизайну, но их более низкая цена является ключевым конкурентным преимуществом на весьма чувствительном к цене рынке РФ (сами российские изготовители и потребители считают эту разницу более существенной). Однако это преимущество теряется вследствие значительного повышения цен, в первую очередь на металл. Так, с апреля 2008 г. ведущие металлургические компании РФ — Северсталь, Мечел, Магнитогорский и Новолипецкий меткомбинаты в очередной раз резко повысили цены на металлопрокат (в среднем на 35...40 %), ссылаясь на повышение стоимости сырья. Между тем большинство российских металлургических компаний, являясь вертикально интегрированными структурами, располагает значительными собственными запасами железной руды. Так, НЛМК обеспечен рудой на 96, Евраз и Северсталь на 80 % [6].

«Металлургический фактор» может оказать самое негативное влияние на состояние российской экономики в целом, в том числе на сварочные материалы. В подобных случаях государство имеет право и обязано вмешаться и взять ситуацию под контроль. Эффективность такого вмешательства видна на общеизвестном примере Мечела.

Естественно, что и производители сварочных материалов были вынуждены поднять цены. Однако ценовая политика разных производителей существенно различна. Так, анализ цен на электроды трех ведущих заводов показывает повышение цен на электроды общего назначения на 27; 24 и 16 %, а на высоколегированные электроды (вслед за це-

ной никеля) у двух заводов цена снизилась примерно на 6 %, а у третьего выросла на 23 %.

Подчас можно услышать утверждения, что недостатки отечественных электродов связаны с «устаревшими формулами покрытий», т. е. с их составами [7]. По нашему мнению, это справедливо лишь для электродов узкого назначения, например, для сварки корневых слоев швов стыков магистральных трубопроводов. При соблюдении отработанных годами составов и технологии изготовления российские электроды по качественным показателям достаточно конкурентоспособны. Об этом, в частности, свидетельствует успешная работа в России предприятия «ЭСАБ-СВЭЛ» (С.-Петербург) со 100 % шведским капиталом, выпускающего наряду с электродами серии ОК и российские марки электродов серий УОНИ, ОЗС и др., и наращивающего объемы.

Главная проблема в обеспечении конкурентоспособности электродов связана со стабильностью их качества. Именно нестабильность качества, присущая продукции многих заводов и связанная в основном с их низким техническим уровнем, резко снижает конкурентоспособность отечественных электродов. Давно известно, что технология изготовления электродов оказывает непосредственное и часто решающее влияние на физические и металлургические процессы, протекающие при образовании сварного шва, а следовательно, на качество швов и на сварочно-технологические свойства электродов. Положительные свойства любой хорошей марки электродов могут быть сведены к нулю, если не будут удовлетворительно разрешены вопросы технологии их промышленного изготовления. Правильное решение этих вопросов имеет в настоящее время большее значение, чем редко оправданное «изобретательство» бесконечного числа новых или «модернизация» существующих марок электродов» [8]. Это утверждение справедливо и в наши дни.

Среди показателей, определяющих технический уровень производства, весьма существен фактор уровня квалификации рабочих основных специальностей и инженерно-технического персонала. Особенно это болезненно для производств сварочных материалов, где обучение персонала и в советское время, и теперь ведется только непосредственно на заводах при отсутствии современной литературы. В определенной мере снижению остроты этой проблемы будет способствовать выход в свет монографии «Производство электродов для дуговой сварки» [9].

Даже при высокой квалификации персонала свести влияние человеческого фактора к минимуму можно только путем рациональной автоматизации управления технологическими операциями и технологическим процессом в целом. При имеющемся уровне развития электродных заводов