

УДК 621.791:004.891

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СТАБИЛЬНОСТИ РАБОТЫ СВАРЩИКА

И. В. Кузьменко¹, А. Н. Грицына²

¹slowbox@yandex.ru, ²svarka.dstu@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет» (ДГТУ)

Поступила в редакцию 25 июня 2014 г.

Аннотация. Рассматривается методика построения базы данных обучающих примеров обучения искусственной нейронной сети, лежащей в основе экспертной системы. Предполагается, что качество сварного соединения напрямую зависит от стабильности процесса сварки. Стабильность ручной дуговой и механизированной сварки зависит от квалификации сварщика. Для создания базы данных используется область качества сварного соединения, построенная по методике, предложенной проф. Ю. Г. Людмирским. Методика построения области качества включает в себя сварку образцов по схеме, позволяющей получить плавные переходы от качественного участка сварного шва к дефектному, что позволяет определить границы области качества сварного соединения. В результате полученную область качества используют для синтеза базы данных обучающих примеров, представляющих собой пары вход-выход искусственной нейронной сети. Описана методика обучения искусственной нейронной сети, позволяющая в ускоренном режиме проводить обучение, без потери качества обучения. Показано, что предложенная методика формирования базы данных для обучения экспертной системы позволяет сократить время и количество экспериментов без потери достоверности данных и качества обучения экспертной системы.

Ключевые слова: сварное соединение; искусственные нейронные сети; дефекты сварного шва; экспертная система; стабильность процесса сварки; аналитические методы.

На сегодняшний день в сварочном производстве много усилий направлено на получение качественных сварных соединений. Создана обширная нормативная база. Совершенствуются методы контроля. Много усилий направлено на устранение негативных последствий роли человеческого фактора за счет механизации, автоматизации и роботизации сварочного производства. Тем не менее, объем применения ручной дуговой остается достаточно высоким, особенно при монтаже. Следует обратить внимание, что при использовании механизированной сварки проблемы роли человеческого фактора также играют существенную роль. Исключить влияние человеческого фактора или снизить его роль можно только за счет улучшения качества подготовки сварщиков, а также контроля в реальном времени в процессе сварки.

Вопросам подготовки квалифицированного персонала, а также методам поэтапного и/или постоянного (в реальном времени) контроля за процессом обучения, усвоения и получения «правильных» навыков у обучаемых посвящено

множество работ. Главным критерием оценки качества подготовки являются критерии стабильности моторных навыков, поэтому все методики направлены на их выработку и контроль у обучаемых. После обучения необходимо пройти квалификационные испытания с получением допуска для работы в той или иной области. Так, например, сегодня в России для проведения работ на опасных производственных объектах необходимо пройти сертификацию в соответствии с РД 03-495-02 [1].

Для решения задач подготовки квалифицированного персонала широко используются тренажеры сварщика. Один из первых тренажеров был разработан Межотраслевым учебно-аттестационным центром Института электро-сварки им. Е. О. Патона «Малоамперный дуговой тренажер МДТС» [2]. Впоследствии появились тренажеры, отслеживающие моторные навыки сварщика при манипуляции электродом-имитатором [3, 4]. Применение тренажеров позволяет сократить сроки и обеспечить высокое качество обучения. Дальнейшие исследования

привели к появлению виртуальных тренажеров. Все тренажеры условно можно разделить на три класса: тренажеры с открытой дугой, тренажеры на основе сенсорных панелей, тренажеры с применением виртуальной реальности, где рабочее место, инструмент и сам процесс сварки моделируются и визуализируются непосредственно перед зрчком обучаемого с помощью специализированных шлемов.

Вопросам тренировки и обучения сварщиков посвящено много работ. А. В. Сас с соавторами [5] провели исследование психофизиологических характеристик взаимодействия сварщика-оператора с процессом и закономерностей формирования профессиональных навыков. На основании исследования была разработана методика обучения, а так же разработан тренажер.

Можно отметить, что на сегодняшний день практически каждый крупный производитель сварочного оборудования (например, Lincoln Electric, Fronius, Kemppi и др.) [6–8] представил на рынок свой тренажер для сварщиков. Все они преимущественно выполнены с применением виртуальной реальности.

К сожалению, существующие тренажерные средства не позволяют в режиме реального времени оценивать стабильность работы сварщика. Поэтому необходимым шагом повышения качества подготовки сварщика является разработка и внедрение экспертных систем оценки стабильности работы сварщика, которые позволят в реальном времени прогнозировать появление дефектов в сварном шве, связанных с нестабильностью работы сварщика, и сигнализировать об этом сварщику. Экспертная система должна давать оценку на основе формализованного опыта высококвалифицированного сварщика.

Экспертная система (англ. expert system) – компьютерная система, способная частично заменить специалиста-эксперта в разрешении проблемной ситуации.

В информатике экспертные системы рассматриваются совместно с базами знаний как модели поведения экспертов в определенной области знаний с использованием процедур логического вывода и принятия решений, а базы знаний – как совокупность фактов и правил логического вывода в выбранной предметной области деятельности.

В основе экспертной системы предлагается использовать искусственные нейронные сети.

Искусственные нейронные сети (ИНС) представляют собой систему соединенных и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов) [9, 10].

Каждый нейрон подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим процессорам. ИНС находят применение при распознавания образов, дискриминантного анализа, методов кластеризации, прогнозирования, адаптивного управления и как алгоритмы для робототехники. Нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, они обучаются.

Обучение нейронных сетей – это многопараметрическая задача нелинейной оптимизации.

Возможность обучения – одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами [11]. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами. В процессе обучения нейронная сеть способна выявлять сложные зависимости между входными данными и выходными, а также выполнять обобщение. Это значит, что в случае успешного обучения сеть сможет вернуть верный результат на основании данных, которые отсутствовали в обучающей выборке, а также неполных и/или «зашумленных», частично искаженных данных.

Экспертная система должна опираться на математическую модель предметной области. Применительно к тренажерным средствам сварщика ручной дуговой или механизированной сварки объектом анализа являются параметры, характеризующие влияние моторных действий сварщика на показатели качества сварного соединения. На качество формирования шва при ручной дуговой и механизированной сварке наибольшее влияние оказывают возмущения, связанные с манипуляциями сварщика.

Основной задачей сварщика является поддержание процесса сварки в интервалах, заданных в технологической карте сварки.

В качестве критерия оценки стабильности работы сварщика предлагается принять отклонение геометрических параметров сварного соединения от нормируемых параметров. Связь стабильности манипулирования электродом с геометрическими параметрами шва сложная и многофакторная. Влияют отклонения траектории движения электрода относительно шва, скорость и равномерность движения электрода, поддержание заданного размера дугового промежутка, отработка ситуаций, связанных со случайным изменением зазора, и др. Главное, что между этими параметрами имеются парные взаимодействия. Для моделирования таких взаимодействий в наибольшей степени подходят нейронные сети, обучение которых необхо-

димо проводить на базе данных, полученных при проведении экспериментов в реальных условиях для конкретных типов соединения.

Предлагается в качестве основы для формирования базы данных использовать предложенную Ю. Г. Людмирским модель, получившую название «область качества» [12]. В общем виде область качества охватывает диапазон допустимых изменений параметров процесса, которые не вызывают нарушение требований к качеству, сформулированных в нормативных документах.

Экспертная система должна отслеживать колебания параметров процесса сварки (при реальном выполнении сварки или при использовании имитаторов процесса на тренажере) и в реальном времени давать оценку, соответствует ли результат области качества. Такая оценка позволяет судить о стабильности работы сварщика.

Рассмотрим в качестве примера построение области качества сварного соединения листов толщиной 2 мм + 3 мм по отбортовке (рис. 1).

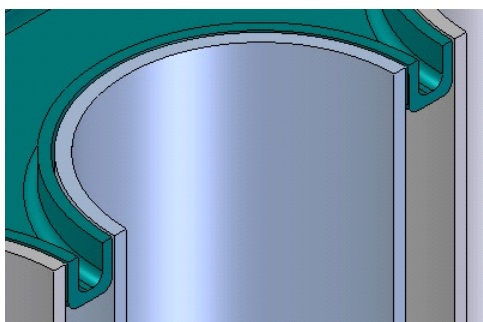


Рис. 1. Соединение по отбортовке

В качестве основного технологического параметра будем рассматривать отклонение электрода от стыка. В качестве показателя качества формирования шва будем рассматривать глубину проплавления шва и образование наплывов на кромках соединения. Чтобы исключить возможность колебания других технологических параметров для выполнения сварного соединения, необходимо использовать «идеального» сварщика – промышленный сварочный робот.

Для определения границ «области качества» по величине зазора b и отклонения оси электродной проволоки X , от реального положения стыка в пространстве, была проведена сварка серии контрольных сварных соединений пластин по торцу (рис. 2). Для сварки использовали промышленный сварочный робот фирмы KUKA. С целью получения набора сечений с различным положением электрода относительно стыка, робот перемещал электрод под углом к оси стыка (рис. 2 справа).



а

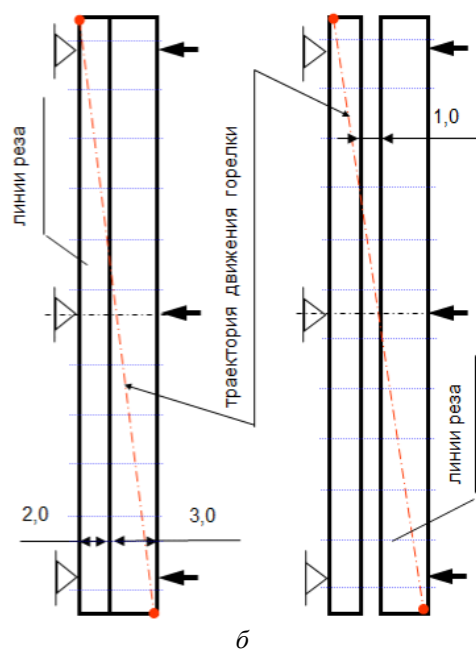


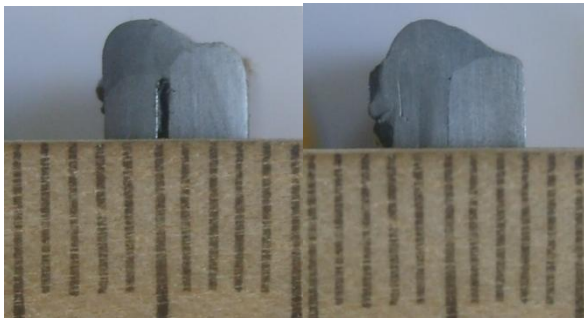
Рис. 2. Приспособление для сварки контрольных образцов (а) и схема закрепления пластин и траектория перемещения горелки (б)

Методика проведения эксперимента заключалась в следующем. Сварное соединение, имитирующее отбортовку кругового шва, собирали в приспособлении, позволяющем устанавливать полосы толщиной 2 и 3 мм в строго определённое положение, и при необходимости удерживать их в процессе сварки с заранее заданным зазором (рис. 2). Исследуемые параметры b и X изменяли в определённых пределах. Зазор b изменяли ступенчато ($b = 0$; $b = 0,5$ мм; $b = 1,0$ мм) путём постановки между полосами калиброванных пластин. Эти пластины устанавливали ниже будущего сварного шва, и поэтому

они не нарушали его формирования в процессе сварки.



а



б

Рис. 3. Влияние смещения электрода относительно стыка и величины зазора на глубину проплавления стыка

Смещение электрода «Х» относительно стыка задавали специальной программой, введённой в память робота. Траекторию перемещения оси электродной проволоки относительно стыка изделия задавали следующим образом. В память робота вводили координаты правой нижней точки изделия и левой верхней точки изделия, как показано, робот перемещался от одной заданной точки к другой по прямой линии. Также показано расположение свариваемых кромок, величина зазора и траектория перемещения оси сварочной проволоки относительно изделия. Траектория движения электрода при сварке обеспечивала плавное изменение размеров и формы шва в зависимости от величины смещения электрода от стыка. Образцы разрезали на темплеты с шагом 5 мм и на шлифах определяли глубину проплавления.

На рис. 3 приведены примеры шлифов в различных точках по длине шва.

Можно видеть, что чрезмерное смещение электрода на одну из кромок не только уменьшает глубину проплавления, но и вызывает дефект в виде наплыва металла шва на кромку (рис. 3, а).

Экспериментальные данные по совместному влиянию величины смещения электродной про-

волоки X от стыка и величины зазора b в стыке на геометрические параметры сварных швов заносятся в таблицу, на основании которой осуществляется построение «области качества» (рис. 4), границы которой устанавливают в соответствии с требованиями нормативных документов.

Таблица
Геометрические параметры сварного соединения, при различных значениях величины зазоров b и смещения электродной проволоки от стыка
(размеры в мм)

Смещение электрода на деталь, X	Величина зазора в соединении, b	Ширина шва, e	Высота усиления, g	Глубина проплавления, h	Величина напльва на боковую поверхность, f
На трубу -1,8	0,0	5,2	1,5	0,5	0,2
На трубу -1,8	0,0	5,3	1,3	0,7	0,3
На трубу -1,7	0,0	5,2	1,4	0,7	0,3
На лист - 1,0	0,0	4,7	2,2	1,2	0,1
На лист - 0,9	0,0	5,1	1,7	1	0,2
На лист - 1,0	0,0	4,8	2,2	1,2	0,1
На трубу -1,8	0,5	4,8	1,3	1,3	0,1
На трубу -1,8	0,5	4,8	1,2	1,5	0,1
На трубу -1,8	0,5	5,2	1	1,6	0,2
На лист - 0,8	0,5	4,7	2,0	2,0	0,1
На лист - 0,8	0,5	4,8	1,7	2,1	0,1
На лист - 0,8	0,5	4,7	1,8	2	0,1
На трубу -1,3	1,0	5,1	1,5	1,8	0,1
На трубу -1,3	1	5,2	1,5	2	0,0
На трубу -1,3	1	4,9	1,6	2,1	0,0
На лист - 0,3	1,0	5,3	0,5	2,5	0,0
На лист - 0,3	1,0	5,5	0,8	2,2	0,0
На лист - 0,3	1,0	5,5	0,8	2,3	0,0

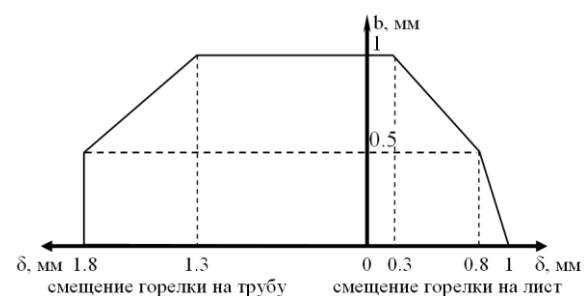


Рис. 4. Область качества сварных соединений «панель+труба» (толщиной 2 мм + 3 мм), сваренных по отбортовке. Режим сварки: проволока Св-08Г2С, диаметр 1,0 мм; сварочный ток $I = 110$ А; напряжение на дуге $U = 25$ В; скорость сварки $V = 28$ м/ч; вылет электрода – 12 мм; расход защитной смеси $Q = 14$ л/мин

При смещении электрода относительно оси стыка за границы «области качества» появляются дефекты сварного шва, такие как: несплавление кромок, наплыв на одну из поверхностей.

Построенная область качества позволяет синтезировать неограниченное количество обучающих примеров для создания базы данных для обучения экспертной системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложенная методика формирования базы данных для обучения экспертной системы позволяет сократить время и количество экспериментов без потери достоверности данных и качества обучения экспертной системы.

2. Формирование базы данных должно проводиться на данных, полученных экспериментальным путем, и дополнены данными, полученными из построенной области качества конкретного соединения.

3. Для формирования базы данных обучения экспертной системы (построения идеального шаблона) необходимо применять идеального сварщика (робота).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Технологический** регламент проведения аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства: РД 03-495-02. М.: Госгортехнадзор России, 2002. 87 с. [[*Technological regulations for certification of welders and welding engineers. Guidance document RD-03-495-02, Gosgortehnadzor Rossii, 2002.*]]

2. **Богдановский В. А., Гавва В. М., Махлин Н. М.** Компьютеризированный малоамперный дуговой тренажер сварщика // Сварочное производство. 2006. № 12. С. 28–31. [[A. V. Bogdanovsky, V. M. Gavva, N. M. Mahlin, "Computerized low-ampere arc welding simulator," (in Russian), in *Svarochnoe proizvodstvo*, no. 12, pp. 28-31, 2006.]]

3. **Мгонджа Х. Т.** Разработка тренажерных средств для подготовки к аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2002. 148 с. [[H. T. Mgondga, *Development of training facilities to prepare for the certification of welders and welding engineers*, (in Russian), Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2002.]]

4. **Шон, Динь Чыонг.** Разработка технических средств и критериев целенаправленного формирования практических навыков сварщика: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Ростов-на-Дону, 2010. 24 с. [[Shon, Din` Chiong, *Development of technical means and criteria of purposeful formation of practical skills of the welder*, Phd. diss. author's abstract, Rostov-on-Don, 2010.]]

5. **Тренажеры и методики /** ООО «Исследовательский центр подготовки и аттестации рабочих кадров «Профессионал» в области профессиональной подготовки электросварщиков»; А. В. Сас и др. М.: Исследования и разработки, 2000. 53 с. [[A. V. Sas, et al., *Simulators and techniques*, (in Russian), ООО "Issledovatel'skiy centr podgotovki i attestacii rabochih kadrov "Professional" v oblasti professionalnoi podgotovki elektrosvarshikov", 2000.]]

6. (2014, June 18). Fronius Virtual Welding [Online]. Available: <http://weldingsite.com.ua/rss35.html>

7. (2014, June 18). VRTEX® Virtual Reality Arc Welding Trainer – Lincoln Electric [Online]. Available:

<http://www.lincolnelectric.com/en-us/equipment/training-equipment/Pages/vrtex.aspx>

8. (2014, June 18). Arc+ Welding Simulator – 123 Certification [Online]. Available: <http://www.123arc.com/en/ARCPPlus.htm>

9. **Haykin S.** Neural networks. A comprehensive foundation. Second edition. McMaster University Hamilton, Ontario, Canada: Prentice Hall, 2006.

10. **Скачков И. О., Пирумов А. Е., Максимов С. Ю., Прилипко Е. А.** К вопросу применения нейронных сетей для контроля качества сварных соединений при подводной сварке // Автоматическая сварка. 2006. № 6. С. 27. [[I. O. Skachkov, A. E. Pirumov, S. U. Maksimov, E. A. Prilipko, "By the application of neural networks to control the quality of welded joints in underwater welding," (in Russian), in *Avtomaticheskaya svarka*, no. 6, p. 27, 2006.]]

11. (2014, June 18). The Machine Learning Dictionary. Available: <http://www.cse.unsw.edu.au/~billw/mldict.html>

12. **Людмирский Ю. Г.** Повышение эффективности применения неадаптивных роботов на основе вероятностно-статистического моделирования процессов сборки и сварки малогабаритных пространственных конструкций: дис. ... д-ра техн. наук. Ростов-на-Дону, 2002. 300 с. [[U. G. Vudmirsky, *Improving the efficiency of the use of non-adaptive robots based on probabilistic and statistical modeling of processes of assembly and welding malozhestkih spatial structures*, Dr. tech. sci. diss., author's abstract, Rostov-on-Don, 2002.]]

ОБ АВТОРАХ

КУЗЬМЕНКО Игорь Владимирович, асп. каф. машин и автоматизации сварочного производства. Дипл. инж.-сварщ. (ДГТУ, 2003). Готовит дис. об экспертной системе оценки квалификации сварщика.

ГРИЦЫНА Александр Николаевич, доц. каф. машин и автоматизации сварочного производства. Дипл. инж.-сварщ. (ДГТУ, 2005). Канд. техн. наук (ДГТУ, 2011). Иссл. в обл. роботизации сварки.

METADATA

Title: Method of forming a database for learning expert system to evaluate stability of the welder.

Authors: I. V. Kuzmenko¹, A. N. Gricyna².

Affiliation:

Don State Technical University (DGTU), Russia.

Email: slowbox@yandex.ru, svarka.dstu@mail.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 19, no. 1 (67), pp. 179-184, 2015. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The technique of building a database of training examples of training artificial neural network underlying the expert system. It is assumed that the quality of the welded joint depends on the stability of the welding process. Stability manual arc and mechanized welding depends on the skill of the welder. To create a database using the field of quality of the welded joint, built by the method proposed by Professor. G. Lyudmirsky. A method for constructing the area as including welding samples according to the scheme allows for smooth transitions from high-quality weld portion to be defective, that allows to define the quality of the welded joint. As a result, the

quality of the resulting area is used to synthesize a database of training examples, which are pairs of input-output artificial neural network. A technique for training artificial neural network, which allows a fast mode to train, without losing the quality of education. It is shown that the proposed method of forming a database for learning expert system to reduce the time and number of experiments without loss of data reliability and the quality of learning expert system.

Key words: weld; artificial neural network; weld defects; expert system; the stability of the welding process; analytical methods.

About authors:

KUZMENKO, Igor Vladimirovich, Postgrad. Postgrad, Dept. Machinery and automation of welding production. Don State Technical University (DGTU, 2015)

GRICYNA, Aleksandr Nikolaevich, Associate Professor. (PhD), Dept. Machinery and automation of welding production. Don State Technical University (DGTU, 2015).