

ленного слоя можно значительно расширить, в том числе и относительно разработанного в данной работе способа, путем использования дополнительного независимого источника энергии, например плазменной или электрической дуги. Дополнительный источник при этом располагается за пятном фокусирования лазерного пучка, движется вместе с ним подогревая наплавленный слой и одновременно порошковый материал, подаваемый в зону наплавки. Важными достоинствами предлагаемого способа является повышение эффективности лазерной газопорошковой наплавки и решение проблемы трещинообразования за счет использования сравнительно дешевой энергии электрической или плазменной дуги.

#### Литература.

1. Рзаев Э.Д. Основные факторы и параметры процесса лазерной газопорошковой наплавки. Ученые записки АзТУ, Баку, 2006, №4
2. Рзаев Э.Д., Гусейнов Э.Я. Исследование структурно-фазового состояния наплавленных слоев полученных лазерной наплавкой. "Механика Машиностроение" №2, Баку 2008г
3. Власов Е.Н., Каракозов Э.С., Петров В.А. и др. Влияние модифицирования и обработки поверхностей стали ШХ15 лазерным излучением на трение по твердому сплаву. Физика и химия обработки материалов.-1987, №1, с.156-168.
4. Laser beam cladding of seating surfaces on exhaust valves/Aihua W., Zengyi T.-1991, 70. N4. с.1065-1095.
5. Абильтитов Г.А., Грезев А.Н. и др. Изучение трещинообразования и микроструктур сплавов, наплавленных лучом лазера. Электронная обработка материалов, 1989, N4, с.27-30.121
6. Архипов В.Е., Биргер Е.М. Применение лазерной техники и технологии при ремонте оборудования. – М.: Машиностроение. 1990, - 63 с.
7. Рзаев Э.Д. Принципы выбора порошковых материалов для лазерной наплавки. "Механика Машиностроение" №3, Баку 2007г

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИИ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ ТОНКОЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

*Н.В. Павлов, ст. преподаватель, А.В. Крюков, к.т.н., доц., Е.А. Зернин, к.т.н., доц.,  
В.А. Полищук, студент*

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета*

*652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 5-09-06*

*E-mail: pavlin123@rambler.ru*

#### Введение

Современные требования к качеству металлических изделий и конструкций промышленных производств с одновременным снижением массогабаритных размеров обуславливают тенденцию использования тонких металлов.

Наиболее распространенными отраслями применения тонколистового металла является авиационная, химическая и пищевая промышленности. Основными трудностями, препятствующими широкому использованию тонколистового металла при производстве сварных металлоконструкций, являются:

- **проваливание** сварочной ванны;
- достаточно малые скорости сварки.

Это в свою очередь, негативно влияет на производительность, материальные затраты на производство и, наконец, на себестоимость изделия.

Проблемой сварки тонколистового материала в разное время занимались А.В. Петров, В.И. Столбов, Г.А. Славин, И.М. Жданов, В.В. Лысак, Б.В. Медко.

Современные методы и технологии сварки тонколистового металла предусматривают применение теплоотводов, разного рода формирующих подложек, двуструйной газовой защиты или иного оборудования, которое предупреждает прожиг тонкого металла [1, 2].

В последние годы сварка плавлением тонколистовых материалов развивается по линии применения высококонцентрированных источников тепла (рисунок 1) [3].

Одним из таких способов является сварка с импульсной подачей электродной проволоки (ИПЭП).

При данном способе обеспечивается увеличение в 2–3 раза скорости кристаллизации сварочной ванны вследствие нестационарного энергетического воздействия источника нагрева на сварочную ванну, уменьшающего температуру расплавленного металла [4].



Рис. 1. Способы сварки плавлением тонколистового металла

Однако, данный способ сварки тонколистового металла не находит широкого применения из-за существенных отличий методик расчета параметров шва, в связи с их разработкой для условий сварки с постоянной подачей электродной проволоки [5].

Поэтому актуальной является задача адаптации существующих методик и создание программного обеспечения для автоматизированного расчета параметров процесса сварки с нестационарным движением электродной проволоки.

#### Основная часть

Для сварки с ИПЭП в смеси газов математическая модель формы шва должна устанавливать зависимость размеров стыкового шва и наплавленного валика от параметров режима сварки (среднее значение тока  $I$ , напряжение на дуге  $U_d$ , скорость сварки  $V_{ce}$ ), а также параметров ИПЭП ( $L$  – расстояние между захватами,  $f$  – частота импульсного перемещения электродной проволоки).

Для решения поставленной задачи целесообразно выбрать метод детерминированно-статистического моделирования и разработать модель, сочетающую преимущества детерминированных (отражение физических процессов и универсальность) и статистических моделей (простота и высокая точность) [6].

Параметры удельной теплоемкости, плотности и температуры плавления свариваемого металла в адаптируемой модели приведены к усредненному значению и приняты как постоянные (согласно теории Н.Н. Рыкалина) [7].

На основе предложенного в работе [8, 9, 10] метода детерминировано-статистического моделирования были получены адаптированные зависимости размеров шва от параметров сварки и параметров ИПЭП оказывающие наибольшее влияние на процесс получения и формирования сварного соединения.

Зависимость размеров шва представляется в виде показательных функций:

$$e = \frac{I^{5,08} \times U_d^{3,528}}{f^{5,391} \times L^{0,708} \times V^{0,743}}, \text{ мм}, \quad (1)$$

$$h = \frac{I^{0,02} \times U_d^{0,411}}{f^{0,061} \times L^{0,096} \times V^{0,071}}, \text{ мм}, \quad (2)$$

$$g = \frac{I^{3,35} \times U_d^{0,44}}{f^{0,53} \times L^{2,09} \times V^{2,24}}, \text{ мм}, \quad (3)$$

где  $h$  – глубина проплавления, мм;  $e$  – ширина шва, мм;  $g$  – усиление шва, мм.

Стоит также отметить, что созданные алгоритмы позволят также производить обратную задачу, рассчитывать режимы сварки на основе требуемых геометрических размеров сварного шва.

Проверка адекватности полученных математических моделей (1)...(3) для процесса сварки с импульсной подачей электродной проволоки выполнена при сварке серии образцов. В состав экспериментальной установки входили: автоматическая сварочная головка ГСП-2, укомплектованная механизмом импульсной подачи электродной проволоки (рисунок 2) [11]; источник питания ВС-300Б.

В качестве защиты при сварке использовалась смесь газов ( $Ar+CO_2$ ) [12]. Наличие аргона позволит обеспечить концентрированный источник теплоты, а добавление углекислого газа обеспечит проплавление основного металла с одновременным снижением себестоимости изготовления конструкции.

На основе проведенных ранее экспериментов было установлено, что рационально использовать для сварки с импульсной подачей электродной проволоки смесь газов  $Ar(70\% \pm 3\%) + CO_2(30\% \pm 3\%)$  [13].

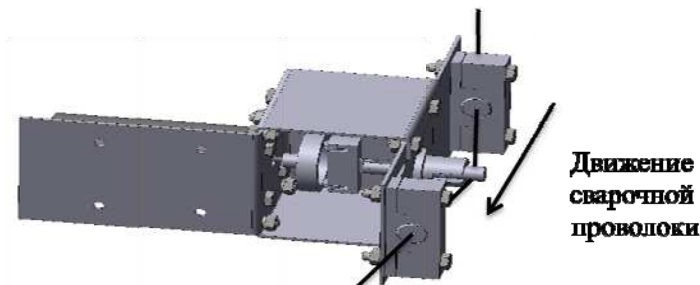


Рис. 2. Общий вид механизма импульсной подачи электродной проволоки

Для исследования использовались пластины из стали Ст3 (толщиной 2 мм). Сварка проводилась проволокой Св-08ГСМТО (диаметром 0,8 мм) (рисунок 3).

После сварки были вырезаны поперечные образцы, протравлены и выполнены измерения геометрических параметров шва. Результаты расчетных и экспериментальных данных представлены в таблице 1 и на рисунке 4.

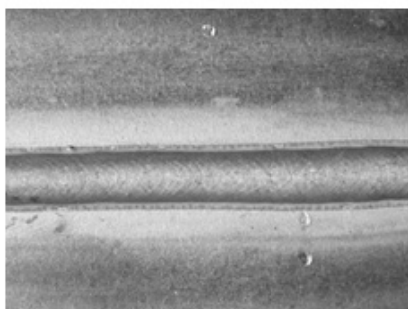


Рис. 3. Внешний вид сварного образца

Сравнение расчетных данных с экспериментальными показало, что погрешность при определении глубины проплавления и ширины шва составила 3-4 %, усиления шва – 6-7 %.

В дальнейшем для реализации второй поставленной задачи, создание программного обеспечения для автоматизированного расчета параметров для процессов нестационарного движения электродной проволоки, были использованы адаптированные зависимости (1)...(3).

Таблица 1

Сравнение экспериментальных и расчетных размеров шва

№, п/п	Режимы сварки					Размеры шва, мм						Относительная погрешность, %		
	I, А	U, В	f, Гц	L, мм	V, мм/с	h		e		g		Δh	Δe	Δg
						рас.	экс.	рас.	экс.	рас.	экс.			
1	45	16	120	125	3,31	1,45	1,48	0,37	0,39	0,26	0,27	2	5,1	3,7
2	42,5	22	120	125	3,29	1,65	1,71	0,84	0,82	0,25	0,24	3,6	2,4	4
3	42,5	24	120	125	3,28	1,71	1,61	1,15	1,11	0,26	0,24	5,8	3,5	7,7
4	40	18	120	125	3,30	1,52	1,57	0,30	0,28	0,27	0,26	3,3	6,6	3,7
5	42,5	16	115	130	3,31	1,45	1,48	0,34	0,33	0,20	0,21	2,1	2,9	4,7
6	42,5	18	115	130	3,29	1,52	1,51	0,52	0,54	0,22	0,21	1	3,7	4,5

Внешний вид приложения «Расчет параметров шва тонколистового металла» представлен на рисунке 4.

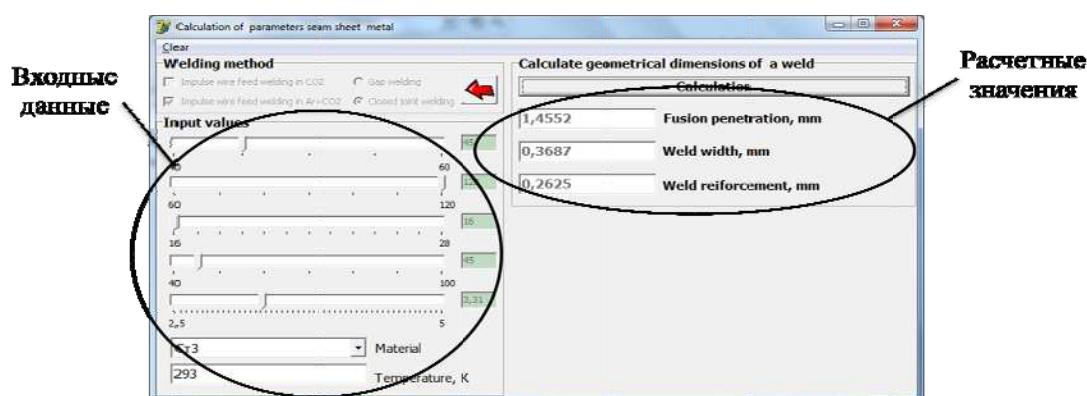


Рис. 4. Приложение «Расчет параметров шва тонколистового металла»

### Вывод

Разработаны адаптированные зависимости размеров шва (глубины проплавления –  $h$ , ширины шва –  $e$  и усиления шва –  $g$ ) от параметров режима сварки (среднее значение тока –  $I$ , напряжения на дуге –  $U_d$ , скорости сварки –  $V_{св}$ , частоты импульсного перемещения электродной проволоки –  $f$  и расстояния между захватами –  $L$ ). Сравнение расчетных данных с экспериментальными показало, что погрешность при определении глубины проплавления и ширины шва составила 3-4 %, усиления шва – 6-7 %. Полученные показательные функции были использованы при разработке компьютерного приложения «Расчет параметров шва тонколистового металла», позволяющего прогнозировать форму шва при сварке с ИПЭП.

*Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 14\_08\_31036*

Литература.

1. Жданов И.М., Медко Б.В., Нифантов В.Н. и др. Изменение концентрации нагрева с применением теплоотводов // Автоматическая сварка. – 1985. – №5. – С. 51 – 54.
2. Chinakhov D.A., Vorobyov A.V., Tomchik A.A. Simulation of active shielding gas impact on heat distribution in the weld zone // Materials Science Forum. Volume 762, 2013, Pages 717-721.
3. Zasyd'ko I.Z., Korinecy I.P. Welding of thin-sheet constructions // Research Bulletin of NTUU "KPI", 2010, №5, P. 81-87.
4. Крюков А.В., Павлов Н.В., Зеленковский А.А. // Сварочное производство. –2013. –№5. –С. 37 – 39.
5. Krampit A.G., Krampit N.Y. Method for the determination of the geometrical dimensions and area of the welded joint // Welding International. Volume 27, Issue 10, October 2013, Pages 834-836.
6. Березовский Б.М. Математические модели дуговой сварки: в 7т. Том 1. Математическое моделирование и информационные технологии, модели сварочной ванны и формирования шва // . – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2002. – 85с.
7. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / Под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2007. – 752с.: ил.
8. Коринец И.Ф., Цзи Чжень Чун Детерминированно-статистическая модель формы шва при дуговой сварке// Автоматическая сварка. – 2001. - №10. С.44 – 47.
9. Коринец И.Ф., Цзи Чжень Чун Влияние зазора на размеры стыкового шва при дуговой сварке в смеси Ar + 25% CO<sub>2</sub> плавящимся // Автоматическая сварка. - 2002. - №8. С.16 – 19.
10. Павлов Н.В., Крюков А.В., Зернин Е.А. Детерминированно-статистическая модель формы шва при сварке с импульсной подачей электродной проволоки в смеси газов // Сварка и диагностика. – 2011. –№6. С. 31–35.
11. Патент РФ на изобретение №2254969 Механизм подачи сварочной проволоки / Брунов О.Г., Федько В.Т., Крюков А.В. и др. Оpub. 27.06.2005. Бюл. №18.
12. Языков Ю.Ф., Алексина И.В. Преимущества сварки в защитных газовых смесях // Сварочное производство. –2008.–№9. –С. 29 – 30.
13. Павлов Н.В., Крюков А.В., Зернин Е.А. Сварка с импульсной подачей проволоки в смеси газов // Сварочное производство. –2010. –№4. –С. 27 – 28.