

9. Сварочные материалы для дуговой сварки: Справочное пособие в 2т. Т.1. Защитные газы и сварочные флюсы: Конищев Б.П., Курланов С.А., Потапов Н.Н. и др. / Под общ. ред. Потапова Н.Н. - М : Машиностроение, 1989 – С. 104.
10. John L. Haas, Jr., Gilpin R. Robinson, Jr., and Bruse S. Hemingway // J. Phys. Chem. Ref. Data. – 1981. – Vol. 10. – № 3. – P. 575 – 669.
11. NIST-JANAF Thermochemical Tables 1985. Version 1.0 [Электронный ресурс] : data compiled and evaluated by M.W. Chase, Jr., C.A. Davies, J.R. Dawney, Jr., D.J. Frurip, R.A. Mc Donald, and A.N. Syvernd. – Режим доступа : <http://kinetics.nist.gov/janaf>.
12. Пат. 2467853 РФ, МПК <sup>8</sup> B23 K35/362 Керамический флюс-добавка/ Крюков Н.Е., Ковальский И.Н., Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е.; ОАО «Новокузнецкий завод резервуарных металлоконструкций» им. Н.Е. Крюкова.- № 201112341602/02(034654), Заявл. 08.06.2011.
13. Пат. 2484936 РФ, МПК <sup>8</sup> B23 K35/362 Керамический флюс-добавка/ Козырев Н.А., Игушев В.Ф., Крюков Р.Е., Голдун З.В.; ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет.- №2012104939/02(007484), Заявл. 13.02.2012.

### **ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЗАЩИТНОГО ГАЗА НА КАЧЕСТВО СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ СРЕДНЕЛЕГИРОВАННЫХ МАРТЕНСИТНО-БЕЙНИТНЫХ СТАЛЕЙ**

*Н.В. Павлов, ст. преподаватель, А.В. Крюков к.т.н., доц., В.В. Гриценко, ст. гр. 10A22  
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**

Среднелегированные мартенситно-бейнитные стали обладают высоким комплексом эксплуатационных свойств и используются для производства ответственных конструкций [1,2]. В частности сосудов высокого давления, тяжело нагруженных машиностроительных изделий и других ответственных конструкций, так как после соответствующей термообработки они обеспечивают высокую прочность конструкции при одновременном снижении металлоемкости. Для сталей этой группы характерно содержание углерода до 0,5% при комплексном легировании в сумме 5...9 %. В связи с весьма высокой чувствительностью к термическому циклу сварки, стали с таким высоким содержанием углерода, склонности к образованию закалочных структур и холодных трещин.

Получение надежных сварных соединений осложняется также повышенной чувствительностью к концентраторам напряжений при статических и, особенно, при динамических нагрузках. Такая опасность тем больше, чем выше легирование стали углеродом [2].

Необходимый уровень прочности при сохранении высокой пластичности достигается комплексным легированием стали различными элементами, главные из которых хром, никель, молибден и др. Эти элементы упрочняют феррит и повышают прокаливаемость стали. Увеличение степени легирования при повышенном содержании углерода повышает устойчивость аустенита, и практически при всех скоростях охлаждения околошовной зоны и режимах сварки, обеспечивающих удовлетворительное формирование шва, распад аустенита происходит в мартенситной области [1].

Находят широкое применения и различные технологические решения: применение теплоотводов, разного рода формирующих подложек, двуструйной газовой защиты, использование при сварке наноструктурированных порошков модификаторов[3,4].

В последние годы активно развивается направление, связанное с применением импульсно-дуговых методов сварки, реализуемое:

1) по средствам управления переносом электродного металла, за счет импульсного питания сварочной дуги [5,6];

2) механическое программирование перехода капли в сварочную ванну при помощи импульсной подачи сварочной проволоки[7,8,9].

Разнообразие способов реализации первого направления дает возможность получить практически любые алгоритмы изменения энергетических характеристик сварочной дуги.

Однако данное направление имеет ряд недостатков:

- сложность схемотехнических решений;

- более высокая стоимость по сравнению со стандартным оборудованием;

- невозможность использования в комплектации с серийными источниками питания.

Второе направление, обеспечивает управляемый перенос электродного металла в сварочную ванну за счет использования механизмов импульсной подачи электродной проволоки (ИПЭП).

При реализации данного направления, рационально использовать механизмы тянущего типа, т.к. позволяют обеспечить не только портативность системы, но и что более важно, точнее передает форму импульса [7,8,9].

Вследствие этого сварка с импульсной подачей электродной проволоки (ИПЭП) с использованием механизмов тянущего типа является актуальной задачей, данный процесс как обеспечивает преимущества импульсно-дуговых способов сварки, так и не имеет существенных недостатков.

Также не маловажным фактором, влияющим на качество сварного соединения, является защитная газовая среда.

Проанализировав существующие и применяемые защитные газы и смеси на их основе, рационально использовать смесь  $Ar+CO_2$  [10]. Данная смесь активно применяется на производстве, положительно сказывается на технологических свойствах сварочной дуги (повышая стабильность ее горения), происходит снижение размеров брызг и уменьшение потерь на разбрызгивание, уменьшается выпуклость шва, с резким переходом к основному металлу [11].

На основе проведенных экспериментов было установлено, что применение смеси  $Ar(70\% \pm 3\%) + CO_2(30\% \pm 3\%)$  при сварке сталей обыкновенного качества (Ст3пс) снижают величину потерь электродного металла на угар и разбрызгивание до 2% [12] (рисунок 1).

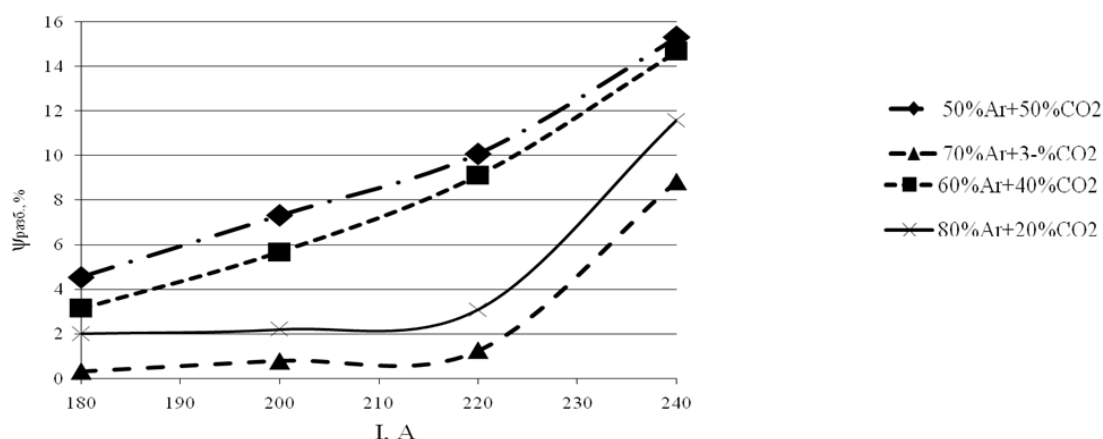


Рис. 1. График зависимости величины потерь электродного металла на угар и разбрызгивание ( $\Psi_{разб.}$ ) от величины сварочного тока ( $I$ )

Основываясь на данных описанных в работе Новожилова Н.М. [13] полученное соотношение обусловлено тем, что добавление к аргону углекислого газа до 70 %  $Ar + 30\% CO_2$  сопровождается уменьшением размера электродных капель и соответствующим увеличением их количества. Повышение содержания углекислого газа в аргоне сверх этого предела при одних условиях сопровождается резким, а при других условиях плавным уменьшением количества капель, образующихся в единицу времени.

Однако вопросы применимости способа сварки с импульсной подачей электродной проволоки в смеси газов  $Ar(70\% \pm 3\%) + CO_2(30\% \pm 3\%)$ , при сварке среднелегированные мартенситно-бейнитных сталей, мало изучены.

В результате была поставлена цель: повышение прочностных характеристик сварного соединения выполненного из среднелегированной мартенситно-бейнитной стали, за счет использования смеси защитных газов в соотношении 70 %  $Ar + 30\% CO_2$  при сварке с импульсной подачей электродной проволоки.

#### Методы исследования

Для исследования влияния состава защитной газовой среды на структуру и эксплуатационные свойства сварных соединений из среднелегированной мартенситно-бейнитной стали, были проведены ряд экспериментальных исследований:

- 1) традиционный способ – сварка с ИПЭП в  $CO_2(100\%)$ ;
- 2) предлагаемый способ – сварка с ИПЭП в смеси газов  $Ar(70\% \pm 3\%) + CO_2(30\% \pm 3\%)$ .

В обоих случаях в состав экспериментальной установки входили: автоматическая сварочная головка ГСП-2, укомплектованная механизмом импульсной подачи электродной проволоки [14], источник питания ВС-300Б, смесительное оборудование, состоящее из трех ротаметров и смесительной камеры. Сварку производили пластин из стали 30ХГСА толщиной 10мм, в Х-образную разделку сварочной проволокой Св-08ГСМТ-О (диаметром 1,2 мм).

Режимы сварки образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Режимы сварки образцов				
Способ сварки	I, А	U <sub>д</sub> , В	V <sub>св</sub> , мм/с	f, Гц
традиционный способ	200-210	23-24	3.6	64
предлагаемый способ	220-230	24-25	3.7	64

Различие в значениях энергетических параметров связано с тем, что для достижения одинаковых геометрических параметров необходимо увеличить режимы сварки с ИПЭП в смеси газов Ar+CO<sub>2</sub> на 5-10% по сравнению с ИПЭП в CO<sub>2</sub>, так как добавление аргона приводит к ее уменьшению [12].

#### Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенных исследований полученные сварные образцы, подвергли количественной оценки химического состава, механическим испытаниям и структурному анализу сварного соединения (таблица 2,3).

Таблица 2

Химический состав наплавленного металла					
Способ сварки	Химические элементы				
	C, %	Si, %	Mn, %	S, %	P, %
традиционный способ	0,24-0,26	0,72-0,74	0,61-0,63	0,013	0,017
предлагаемый способ	0,22-0,23	0,78-0,8	0,66-0,68	0,011	0,015

Таблица 3

Результаты механических испытаний сварных образцов			
Способ сварки	Ударная вязкость, КСУ, Дж/см <sup>2</sup>		
	T=0°C	T=20°C	T=-20°C
традиционный способ	62...66	72...76	52...56
предлагаемый способ	71...75	82...86	60...64

Как видно из таблицы 2 при сварке в смеси газов повышение коэффициент перехода химических элементов раскислителей (кремний и марганец) в сварочную ванну на 4-6%. Данное изменение происходит вследствие изменения величины удельной скорости окисления металла  $\omega_{уд}$ .

Согласно методике описанной в работе Новожилова Н.М. удельная скорость окисления металла рассчитывается согласно представленной формуле [13]:

$$\omega_{уд} = \frac{\sum O_{св}}{100t_{ср}} \cdot \varepsilon / \text{гмет} \cdot \text{с} \quad (1)$$

где  $t_{ср}$  – среднее время пребывания металла в жидком состоянии в с;

$\sum O_{св}$  – удельное окисление металла, г/100 г мет.

Ввиду небольшого времени существования электродных капель данная величина принимается как время пребывания металла в жидком состоянии равным пребыванию металла в сварочной ванне [13]:

$$t_{ср} = \frac{G_b}{g} \text{ сек}, \quad (2)$$

где  $G_b$  – количество жидкого металла в сварочной ванне, г;

$g$  – количество металла, переплавляемого дугой в 1 с. в г/с.

Количество жидкого металла в сварочной ванне определяется по приближенной формуле, основанной на допущении, что объем сварочной ванны равен половине объема эллипсоида [13]:

$$G_e = 0,523 K_3 L B h \gamma_l, \text{ гмет}, \quad (3)$$

где  $K_3$  – коэффициент заполнения сварочной ванны жидким металлом, принимаем равным 0,8–0,9;  
 $L$  – длина сварочной ванны, принятая равной длине кратера, мм;  
 $B, h$  – ширина шва и глубина проплавления основного металла, мм;  
 $\gamma_l$  – плотность жидкого металла в сварочной ванне;

Количество металла, переплавляемого дугой в 1с., определяется по формуле[13]:

$$g = F_{об} v \gamma, \text{ гмет/сек}, \quad (4)$$

где  $F_{об}$  – площадь поперечного сечения металла шва, мм<sup>2</sup>;  
 $v$  – скорость сварки, мм/с;  
 $\gamma$  – плотность жидкого металла.

Проведенные согласно данной методике расчеты (таблица 4), показали увеличение удельной скорости окисления металла на 5-6% и снижение удельного количества окисленного металла до 10%.

Таблица 4

Оценка интенсивности окисления металла

Способ сварки	$g$ , гмет/сек	$G_B$ гмет	$t_{ср}$ , с	$W_{уд}$
традиционный способ	0,262	0,327	1,248	0,03
предлагаемый способ	0,279	0,327	1,172	0,028

Также сохранению элементов раскислителей в сварном соединении способствует снижение величины тепловложения в каплю электродного металла, т.к. тепловая мощность сварочной дуги различна из-за значения эффективного нагрева изделий.

Совокупность данных факторов позволяет кремню, растворяясь в феррите повышать предел текучести и уменьшать склонность к хладноломкости, марганец же образует твердый раствор с железом немного повышает твердость и прочность, что способствует повышению величины ударной вязкости на 10-15% (таблица 3) по сравнению со сваркой в  $CO_2$ .

Стоит отметить, что сварные соединения не подвергались термообработке. Устранение подогрева и послесварочной термообработки из технологического процесса сварки стали 30ХГСА и уменьшение времени на зачистку изделия, позволит увеличить производительность труда по сравнению с традиционным способом на 5-10%.

#### Вывод:

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что применение защитной газовой среды  $Ar(70\% \pm 3\%) + CO_2(30\% \pm 3\%)$  в сравнении с  $CO_2(100\%)$ , позволяет увеличить прочностные характеристики сварного соединения на 10-15% и повысить коэффициент перехода химических элементов.

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

#### Литература.

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1990. – 528с.
2. Чинахов Д.А., Брунов О.Г. Сварка с импульсной подачей электродной проволоки кольцевых соединений из стали 30ХГСА // Известия Томского политехнического университета. – 2006.Т.309. – №1. – С. 136 – 138.
3. 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.
4. Kuznetsov M. A. , Zhuravkov S. P. , Zernin E. A. , Kolmogorov D. E. , Yavorovsky N. A. Influence of Nanostructured Powder Modifiers on the Structure of a Welding Bead // Advanced Materials Research. - 2014 - Vol. 872. - p. 118-122
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. Патон Б.Е., Лебедев В.А., Полосков С.И. Использование механических импульсов для управления процессами автоматической и механизированной сварки плавящимся электродом //Сварка и диагностика. –2013. –№6. –С. 16 – 20.
7. Дюргеров Н. Г., Сагиров Х. Н., Ленивкин В. А. Оборудование для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом. М.: Энергоиздат, 1985, 80 с.

8. Лебедев, В.А. Механизированная дуговая сварка в  $\text{CO}_2$  с регулируемой импульсной подачей сварочной проволоки [Текст] / В.А. Лебедев, В.Г. Пичак // Сварочное производство. –1998. –№5. –С. 30 – 33.
9. Брунов, О.Г. Механизмы импульсной подачи сварочной проволоки [Текст] / О.Г. Брунов, В.Т. Федько, А.П. Слистин // Технология металлов. –1999. –№11. –С. 7 – 10.
10. Аснис А.Е., Гутман Л.М., Покладий В.Р. «Сварка в смеси активных газов».- Киев: Наукова думка, 1982.- 216с.
11. Языков Ю.Ф., Алексина И.В. Преимущества сварки в защитных газовых смесях // Сварочное производство. – 2008.– №9. – С. 29 – 30.
12. Павлов Н.В., Крюков А.В., Зернин Е.А. Сварка с импульсной подачей проволоки в смеси газов // Сварочное производство. –2010. –№4. –С. 27 – 28.
13. Патент РФ на изобретение №2254969 Механизм импульсной подачи сварочной проволоки / Брунов О.Г., Федько В.Т., Крюков А.В. и др. Оpub. 27.06.2005. Бюл. №18.
14. Новожилов Н.М., Основы металлургии дуговой сварки в активных защитных газах. «Машиностроение», 1972, 167с.

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЙ ВАННЫ ПОПЕРЕЧНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ, ГЕНЕРИРУЕМОГО УСТРОЙСТВАМИ ВВОДА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ДУГОВОЙ СВАРКЕ

*А.Д. Размышляев, д.т.н., проф., М.В. Агеева, к.т.н., доц., С.В. Ярмонов, аспирант,  
П.А. Выдмыш, аспирант*

*ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина  
87500, Украина, г. Мариуполь, ул. Апатова, 115. Тел. 38 (0629) -333941*

*\*Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина  
84313, Украина, Донецкая обл., г. Краматорск, ул. Шкадинова, 72, +38 (097) -2174719*

*E-mail: marinamykyta@rambler.ru*

Особенности процесса дуговой сварки и наплавки с использованием поперечного магнитного поля (ПОМП) изучались в работах [1-11]. Показано, что при дуговой сварке и наплавке под флюсом с воздействием ПОМП коэффициент расплавления проволоки повышается на 20...30 %, и значительно уменьшается глубина и площадь зоны проплавления основного металла, измельчается структура шва. Во всех указанных работах применяли устройства ввода (УВ) ПОМП в виде П – образного магнитопровода с обмотками. Однако, оптимальность схем магнитопроводов и их размеров в указанных работах не обсуждались. Магнитное поле, которое генерирует П-образные электромагниты, представляет собой поле в воздушном зазоре. В имеющихся литературных источниках, например, в работе [12], приведены методики определения только интегральных характеристик магнитного поля в воздушном зазоре. Для устройств ввода ПОМП для процессов дуговой сварки и наплавки необходимы локальные характеристики магнитного поля в зазоре, т.е. значения компонент индукции в зоне ниже полюсов электромагнитов. Также необходима оптимизация конструкции УВ ПОМП применительно к процессу дуговой сварки проволокой под флюсом для достижения максимального уровня поперечной компоненты индукции  $B_x$  в зонах электродной капли, сварочной дуги и жидкого металла ванны при минимальной величине продольной компоненты индукции  $B_z$  в этих зонах.

Для выполнения исследований были изготовлены стержни сечением 26×16 мм из пластин из малоуглеродистой стали, а также четырехслойные катушки из медного провода диаметром 1,0 мм высотой 30 мм. Длина стержней составляла 130 мм. Возможна была регулировка расстояния Н от торцов стержней до катушек, а также - h - расстояния от нижних торцов стержней до изделия - поверхности пластины из немагнитной стали типа 12Х18Н10Т – (на рис. 1 изделие не приведено, а ось ОХ расположена на его поверхности). В конструкциях УВ ПОМП с перемычкой 3 (рис. 1,б, в) угол наклона стержней к вертикали составлял  $\alpha = 22^\circ$ . Ширина стержней (в плане) составляла  $b = 26$  мм, толщина стержней составляла 16 мм, расстояние между стержнями А и В у их нижних торцов –  $a = 40$  мм. Катушки с числом витков 100 соединяли последовательно. В катушках пропускали постоянный ток величиной 16 А.

На рис. 1,б,в приведены конструкции УВ ПОМП с перемычкой, а на рис. 1,а – конструкция УВ ПОМП без перемычки.