

## ВЛИЯНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ МЕТАЛЛА ШВА ПРИ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКЕ СТАЛИ 12Х18Н9Т

*А.Д. Размышляев<sup>1</sup>, д.т.н., проф., М.В. Агеева<sup>2</sup>, к.т.н., доц.*

<sup>1</sup>ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, Украина  
87500, Украина, г. Мариуполь, ул. Университетская, 7. Тел. +38 (067) -6202679

<sup>2</sup>Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина  
84313, Украина, Донецкая обл., г. Краматорск, ул. Академическая, 72, +38 (097) -2174719

*E-mail: marinamykyta@rambler.ru*

Статья посвящена влиянию поперечного магнитного поля (ПОМП) на измельчение структуры металла сварного шва. Экспериментально показано, что при дуговой сварке под флюсом пластин аустенитной стали типа 12Х18Н9Т (X10CrNiTi18-9) воздействие переменного ПОМП частотой 6 Гц уменьшает размер зерна металла сварного шва почти вдвое по сравнению со сварочным процессом без воздействия ПОМП. Это должно увеличить значение предела текучести металла шва в соответствии с данными Холла - Петча.

The paper is dedicated to the transverse magnetic field (TMF) influence on the refinement of the weld metal structure. It is experimentally shown that the alternating TMF influence of 6 Hz frequency reduces the grain size of weld metal is almost twice in comparison with the welding process without the TMF influence at submerged arc welding of plates of austenitic steel type 12Х18Н9Т (X10CrNiTi18-9). This is should increase the yield strength value of the weld metal in accordance with the data of Hall – Petch.

Автоматическая электродуговая сварка с воздействием продольного магнитного поля (ПРМП) имеет ряд технологических преимуществ: повышение коэффициента расплавления электрода, уменьшение глубины проплавления основного металла, измельчение структурных составляющих металла шва. Эти данные приведены в значительном числе публикаций и обобщены в монографиях [1,2]. В ряде публикаций показано, что использование поперечного магнитного поля (ПОМП) также позволяет получить указанные выше положительные эффекты. Однако, влияние ПОМП на измельчение структурных составляющих при электродуговой сварке и наплавке недостаточно изучено. Имеются только две публикации [3,4], посвященные вопросу влияния ПОМП на структуру металла шва.

В работе [3] исследовали влияние поперечного магнитного поля на измельчение структуры металла шва при аргонодуговой сварке вольфрамовым электродом сплава Д16. Установлено, что при сварке статической (неколеблющейся) дугой структура металла шва представляла собой дендриты, вытянутые в направлении преимущественного теплоотода. Колебания дуги поперек и вдоль шва приводили к подавлению роста дендритной и к образованию равноосной структуры металла шва. Полное подавление роста дендритов наблюдали при частоте колебаний выше 4 Гц.

В работе [4] для управления процессом кристаллизации шва при ТIG сварке стали использовали поперечное магнитное поле. Управляющее магнитное поле в зоне сварки создавали с помощью электромагнитной системы (ЭМС), состоящей из шести электромагнитов, расположенных на одинаковом расстоянии от электрода под углом 60° один к другому. С помощью микропроцессорного устройства программировали полярность, длительность и периодичность импульсных последовательностей (ти.п) токов намагничивания каждой катушки ЭМС. По сравнению с первичной структурой металла швов, полученных при сварке в обычных условиях, наибольшее измельчение структуры было зафиксировано при продольных колебаниях дуги по всему сечению швов и поперечных колебаниях в центральной части швов.

Таким образом, данные о влиянии ПОМП на кристаллизацию швов при дуговой сварке малочисленны. Это потребовало выполнения исследований, данные которых приведены ниже.

Для установления влияния ПОМП на эффективность измельчения структуру металла шва выполняли автоматическую электродуговую сварку под флюсом пластин толщиной 20 мм из стали 12Х18Н9Т с V-образной разделкой кромок под флюсом Marathon 431 (Bohler) проволокой Св-06Х19Н9Т диаметром 4 мм. Для сварки использовали автомат АДС-1002 и выпрямитель типа ВДУ-1202 (включали падающую внешнюю характеристику источника). Режимы сварки швов, выполненных с воздействием и без ПОМП, приведены в таблице 1. Выбор типа образцов для сварки ( $S = 20$  мм) был связан с дальнейшим внедрением результатов исследований в производство.

Использовали устройство ввода поперечного магнитного поля (УВ ПОМП), приведенное на рис. 1. Устройство содержит магнитопровод 4, состоящий из трёх участков: два наклонных участка, на которых размещены обмотки 7, а также горизонтальный участок, соединенный с наклонными с помощью болтовых соединений 8. Магнитопровод, сечение набора которого 30×20 мм, был собран из пластин электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Угол наклона стержней (электромагнитов) к

вертикальной оси электрода составляет  $45^\circ$ , а торцевые поверхности стержней имеют скосы, параллельные плоскости свариваемых пластин. Количество витков одной обмотки составляло  $W = 70$ . Обмотки выполнены двухслойно из медного изолированного провода диаметром 2 мм. Устройство, генерирующее ПОМП, крепилось к сварочному автомату АДС-1002 с помощью хомутов. При этом магнитопровод 4 был изолирован от автомата изолятором 5. С помощью автомата АДС-1002 можно было изменять параметр  $H$  (вылет электрода), т.е. расстояние между токоподводящими губками 2 и пластиной 6, а также расстояние  $h$  от торцов магнитопровода 4 до поверхности пластины 6.

При величине тока в обмотках 20 А величина поперечной компоненты индукции ПОМП в зоне металла шва составляла 20...25 мТл. При сварке использовали знакопеременное магнитное поле частотой 6 Гц.

Таблица 1

Режимы сварки под флюсом пластин (сталь 12Х18Н9Т)

№ шва	№ прохода	Режимы сварки		
		$I_{св}$ , А	$U_{д}$ , В	$V_{св}$ , м/с
шов № 1 (без ПОМП)	1 проход	400	32	0,008
	2 проход	650	35÷36	0,006
	3 проход	650	35÷36	0,006
шов № 2 (в ПОМП)	1 проход (без поля)	650	34	0,008
	2 проход (с полем)	750	36÷38	0,006

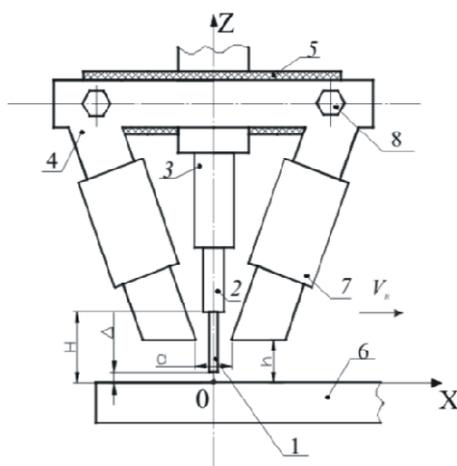


Рис. 1. Схема устройства для создания ПОМП (обозначения расшифрованы в тексте)

Сварку с воздействием переменного ПОМП частотой  $f = 6$  Гц осуществляли с использованием 2-х стержневого УВ (рис. 1) с расположением стержней-полусов поперек оси шва. Конструктивные элементы подготовленных кромок и схематическое изображение сварного соединения, выполненного без воздействия ПОМП и с воздействием ПОМП, представлены на рис. 2. Ток в обмотках устройства УВ ПОМП составлял  $I_k = 20$  А ( $I \cdot W = 1400$ ). Целесообразность использования переменного ПОМП частотой  $f = 6$  Гц была установлена в предварительных исследованиях по влиянию ПОМП на технологические особенности процесса автоматической электродуговой сварки под флюсом. При частоте ПОМП менее 6 Гц происходила значительная «раскачка» взад и вперед жидкого металла ванны, что нарушало стабильность процесса сварки. При частоте ПОМП 6 Гц наблюдалась высокая стабильность параметров режима процесса сварки (кроме того, соблюдалось повышение коэффициента расплавления электродной проволоки на 20...30 %).

В зонах сварочной дуги, электродной капли и жидкого металла ванны значение поперечной компоненты  $B_x$  индукции ПОМП составляло порядка 20÷25 мТл.

Для исследования микроструктуры швов вырезали поперечные темплеты. Затем, после полировки поперечных сечений образцов их травили, используя химический реактив следующего состава: 200 г  $HCl$ ; 300 мл  $HNO_3$ ; 300 мл  $H_2O$ .

На основании анализа микроструктур швов, выполненных при воздействии ПОМП (рис. 3, г, д, е) можно сделать вывод, что воздействие ПОМП на дугу и жидкий металл сварочной ванны приводит к измельчению зерна металла сварного шва.

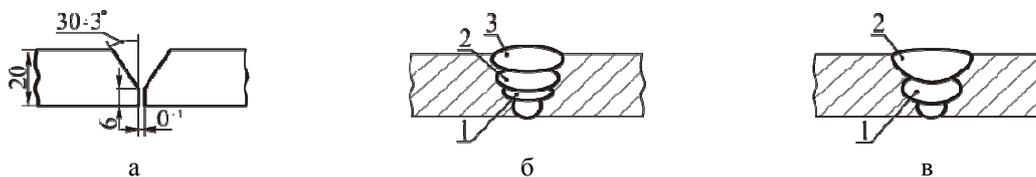


Рис. 2 – Конструктивные элементы подготовленных кромок (а) и схематическое изображение сварного соединения, выполненного без воздействия ПОМП (б) и с воздействием ПОМП (в)

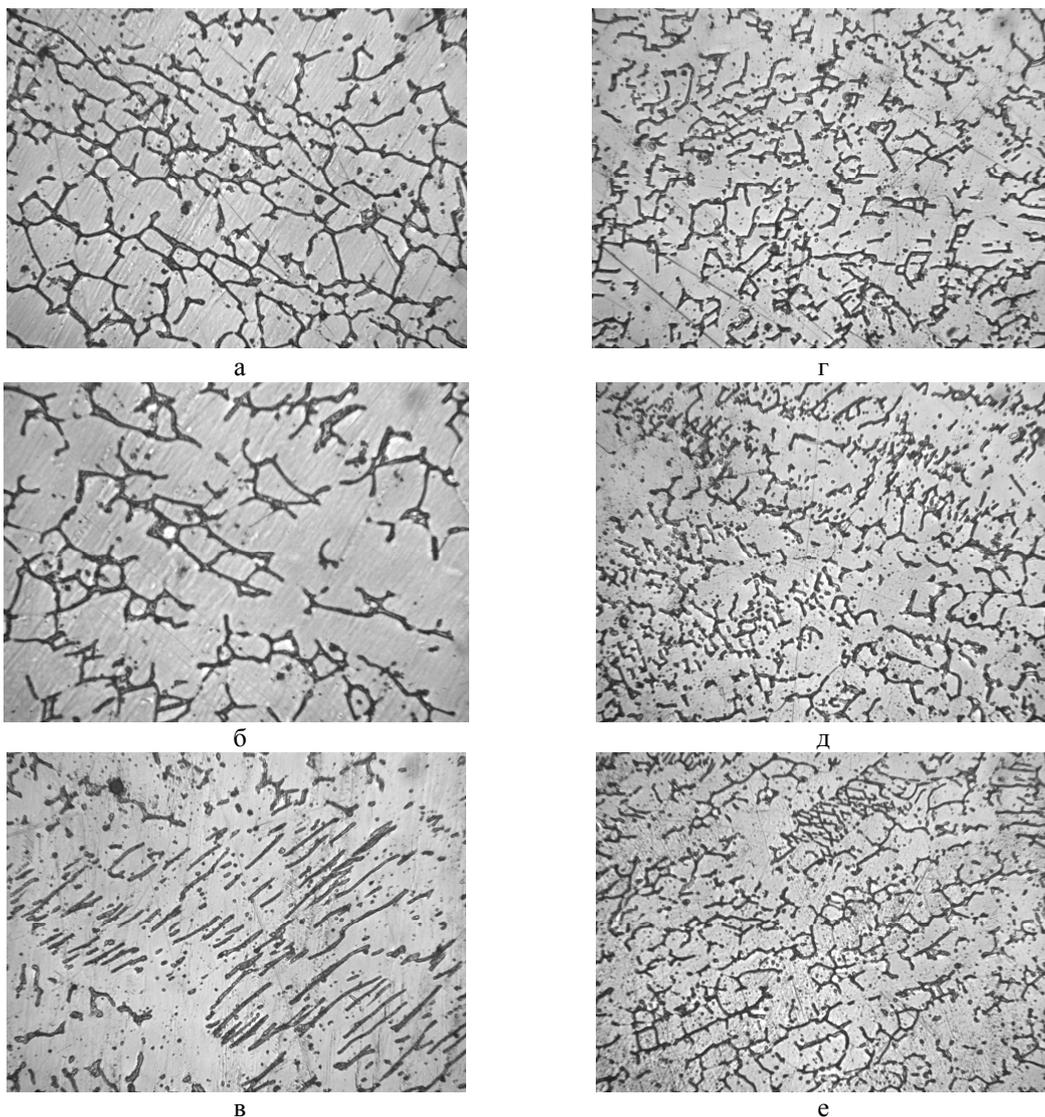


Рис. 3. Микроструктура (увеличение  $\times 500$ ) верхней (а, г), центральной (б, д) и нижней (в, е) областей сварных швов, выполненных без воздействия ПОМП (а, б, в) и с воздействием ПОМП (г, д, е)

Данное заключение подтверждается следующими количественными характеристиками микроструктур сварных швов, определенными с помощью микроскопа:

- 1) средний размер зерен металла шва, выполненного без ПОМП – 7÷6 балл;
- 2) средний размер зерен металла шва, выполненного с воздействием ПОМП – 8 балл, с отдельными включениями зерен с 7 баллом.

Данные размера зерен металла сварных швов, в зависимости от балльной шкалы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Средний размер зерен металла сварных швов	
№ по балльной шкале	Размер зерна, мм
6 балл	0,0391
7 балл	0,0267
8 балл	0,0196

Исходя из данных таблиц 1 и 2 можно сделать заключение, что воздействие ПОМП при дуговой сварке под флюсом пластин из аустенитной стали типа 12X18H9T уменьшает размер зерен металла сварных швов практически в 2 раза по сравнению с процессом сварки без воздействия ПОМП. Это, в соответствии с данными Холла – Петча, должно повысить значение предела текучести металла шва [5].

#### Выводы.

1. Воздействие переменного частотой  $f = 6$  Гц ПОМП при сварке под флюсом стыковых соединений пластин из стали типа 12X18H9T обеспечивает измельчение зерен металла сварных швов практически в 2 раза.
2. При сварке стыковых соединений из стали 12X18H9T без воздействия ПОМП средний размер зерен составляет 7...6 балл, а с воздействием ПОМП средний размер зерен металла шва соответствует 8 баллу с отдельными включениями зерен с 7 баллом, что должно повысить значение предела текучести металла шва.

#### Список литературы

1. Сварка с электромагнитным перемешиванием / В.П. Черныш, В.Д. Кузнецов, А. Н. Брискман, Г.М. Шеленков. – Киев: Техника, 1983. – 127 с.
2. Размышляев А.Д. Магнитное управление формированием валиков и швов при дуговой наплавке и сварке / А.Д. Размышляев, М.В. Миронова. – Мариуполь : Изд-во ПГТУ, 2009. – 242 с.
3. Болдырев А.М. Измельчение структуры металла шва при сварке дугой, колеблющейся в поперечном магнитном поле / А.М. Болдырев, Ю.С. Ткаченко, Н.П. Толоконникова, Э.Б. Дорофеев, С.Д. Никитин // Автоматическая сварка. – 1975. – № 7. – С. 70-71.
4. Рыжов Р.Н. Особенности формирования и кристаллизации швов при сварке ТИГ с отклонениями дуги магнитным полем / Р.Н. Рыжов, В.С. Семенюк, А.А. Титов // Автоматическая сварка. – 2004. – № 4. – С. 17-20.
5. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю.М. Лахтин. – М. : Металлургия, 1977. – 408 с.

### ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОБРАБОТКИ ЖИДКОГО СТЕКЛА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОШКОВ-МОДИФИКАТОРОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СВАРОЧНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

*С.В. Макаров, старший преподаватель, Д.А. Чинахов, к.т.н., доцент*

*Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета*

*652050, г. Юрга, ул. Ленинградская 26, тел. (38451)-7-77-64*

*E-mail: [makarovsv@tpu.ru](mailto:makarovsv@tpu.ru)*

В статье рассмотрены способы обработки жидкого стекла, имеющего в своём составе ультрадисперсные порошки-модификаторы. Сравнение проводилось для двух методик – с использованием планетарной шаровой мельницы и механокавитационной установки активаторного типа. Установлено, что обработка жидкого стекла и ультрадисперсных порошков на планетарной шаровой мельнице приводит к образованию большого числа агломератов. При использовании механокавитационной установки наблюдается диаметрально противоположная ситуация – порошки-модификаторы распределены равномерно во всём объёме жидкого стекла.

Согласно данным [1-3] за последние 5 лет на российском и мировом рынках проявляется тенденция к уменьшению доли сварочных электродов в совокупном объёме использования средств сварки металлов. Вместе с тем, за счёт увеличения потребности в сварных соединениях, связанной с динамичным развитием строительной отрасли (мост через Керченский пролив), военно-промышленного комплекса,