

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДНИЩ РЕАКТОРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ

**Семенов В. М., Кабацкий А. В., Малыгина С. В.**

Целью работы являлось исследование возможности получения качественных сварных соединений с позиции возникающих после сварки деформаций, а также структуры и свойств сварных соединений, полученных при электрошлаковой сварке лепестковых днищ биметаллических реакторов из стали 12ХМА+0Х18Н10. Установлено, что механические свойства сварных соединений стали 12ХМ, выполненных электрошлаковой сваркой и прошедших термическую обработку – отпуск, удовлетворяют требованиям СОУ МПП 71.120-217:2009. В ходе металлографических исследований макро- и микрошлифов дефектов обнаружено не было. Разработанный технологический процесс может быть использован при электрошлаковой сварке криволинейных стыков изделий из двухслойных сталей.

Метою роботи було дослідження можливості отримання якісних зварних з'єднань з позиції деформацій, що виникають після зварювання, а також структури і властивостей зварних з'єднань, отриманих при електрошлаковому зварюванні пелюсткових днищ біметалічних реакторів із сталі 12ХМА+0Х18Н10. Встановлено, що механічні властивості зварних з'єднань стали 12ХМ, що виконані електрошлаковим зварюванням і пройшли термічну обробку – відпустку, задовольняють вимогам СОУ МПП 71.120-217:2009. В результаті металографічних досліджень макро- і мікрошлифів дефектів виявлено не було. Розроблений технологічний процес може бути використаний при електрошлаковому зварюванні криволинійних стиків виробів з двошарових сталей.

The aim of work was to research the possibility of obtaining quality weld joints from position of deformations appeared after electroslag welding of petalous bottoms of bimetallic reactors. Also structure and properties of the bimetallic 12ХМА + 0Х18Н10 steel weld joints were researched. It was found that mechanical properties of 12ХМА steel electroslag welded and heat treated joints suit СОУ МПП 71.120-217:2009 standard. As a result of metallography researches of macro- and microstructures defects are not detected. The obtained results can be used for development of the technology of two-layer steel electroslag welding.

**Семенов В. М.**

Кабацкий А. В.

Малыгина С. В.

д-р техн. наук, проф. ДГМА

канд. техн. наук, доц. ДГМА

канд. техн. наук, доц. ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК.621.791.793.

**Семенов В. М., Кабацкий А. В., Малыгина С. В.**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ДНИЩ РЕАКТОРОВ, ВЫПОЛНЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ**

При изготовлении современной высокопроизводительной аппаратуры высокого давления в химической и нефтехимической промышленности в ряде случаев применяют двухслойные стали с хромистым защитным слоем. В качестве основного слоя обычно используют углеродистые или низколегированные стали: Ст. 3, 12ХМ, 20Н, 15М и др. с облицовочным слоем из хромоникелевой кислотостойкой стали [1–6].

В этой связи в работе [7] описана разработка технологии электрошлаковой сварки плавящимся мундштуком сферических лепестковых днищ реакторов из стали 12ХМ + 0Х18Н10Т. В настоящей работе рассмотрены исследования возможности получения качественных сварных соединений с позиции возникающих после сварки деформаций, а также структуры и свойств сварных соединений.

Электрошлаковая сварка опытных образцов выполнялась проволочными электродами. Сборку лепестков под электрошлаковую сварку производили с помощью скоб, две из которых приваривали со стороны облицовочного слоя, а одну со стороны стали 12ХМ (рис. 1). Лепестки собирали с зазорами: низ стыка – 38 мм, верх стыка – 40 мм. Сварку осуществляли аппаратом А - 535 на режиме: напряжение – 48–50 В; скорость подачи проволоки – 180 м/ч; количество проволок – 1 шт.; глубина шлаковой ванны – 40–50 мм; величина сухого вылета – 60–70 мм; скорость поперечных колебаний – 40 м/ч.



Рис. 1. Лепестки днища двухслойной стали 12ХМ + 0Х18Н10Т, подготовленные к ЭШС проволочным электродом

В процессе сварки изучали перемещение свариваемых кромок ( $\Delta$ ). Результаты измерений представлены в табл. 3. Анализ результатов показывает, что максимальная абсолютная величина перемещения кромок в средней и верхней части стыка не превышает 4 мм.

Согласно действующей на предприятии технологии днища реактора после ручной дуговой сварки подвергают термической обработке – отпуску, обечайки после электрошлаковой сварки и калибровки – нормализации с отпуском. После приварки днищ к корпусу весь реактор проходит термическую обработку – отпуск.

С целью проверки механических свойств и проведения металлографических исследований сварных соединений после различной термической обработки одни сварные образцы подвергались отпуску, другие – нормализации с отпуском. При этом использовали заводские режимы термической обработки. Термообработку осуществляли в электрической печи СНЗ. Температуру контролировали сводовой термопарой, прибором СПЗ. Схема разметки сварной пробы для изготовления образцов приведена на рис. 2.

Таблица 1

## Результаты определения деформаций при сварке лепестков днищ

№ точки	Расстояние между точками, мм						Перемещение кромок, Δ	
	До сварки	При переходе шлаковой ванны к тчк.						После сварки
		1	2	3	4	5		
1	$\frac{199,1}{38,0}$	$\frac{199,0}{38,0}$	–	–	–	–	197,2	1,9
2	$\frac{198,5}{39,25}$	$\frac{199,0}{39,5}$	$\frac{198,0}{38,5}$	–	–	–	197,0	1,5
3	$\frac{199,0}{40,55}$	$\frac{198,45}{40,0}$	$\frac{199,65}{41,25}$	$\frac{197,5}{38,7}$	–	–	195,25	3,75
4	$\frac{197,5}{40,1}$	$\frac{197,5}{40,1}$	$\frac{199,25}{41,66}$	$\frac{195,46}{39,1}$	$\frac{194,3}{35,0}$	–	194,0	3,5
5	$\frac{197,1}{40,5}$	$\frac{197,85}{40,6}$	$\frac{198,66}{41,4}$	$\frac{197,4}{40,7}$	$\frac{196,75}{39,1}$	$\frac{194,7}{36,0}$	193,4	3,7

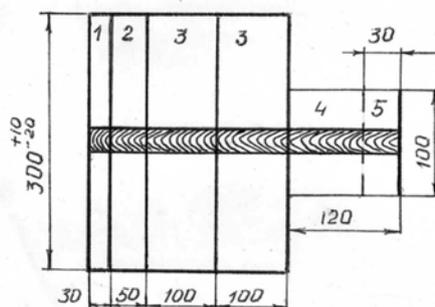


Рис. 2. Схема изготовления образцов для механических испытаний: 1 – отход; 2 – заготовка для образцов на растяжение сварного соединения; 3 – заготовки для образцов на статический изгиб; 4 – заготовка для образцов на ударную вязкость; 5 – заготовка для микрошлифов

Для испытания сварного соединения на растяжение изготавливали два образца типа XVII по ГОСТ 6996-66. Испытание ударной вязкости осуществляли на образцах типа VI с подрезом по оси шва, а испытание на статический изгиб на образцах типа XXVII.

Для определения ударной вязкости сварного соединения изготавливали образцы с надрезом, расположенным на расстоянии 1,5–2 мм от линии сплавления.

В ходе испытаний производился замер твёрдости шва и околошовной зоны. Схема расположения образцов для механических испытаний и точек для определения твердости приведена на рис. 3.

Результаты химического анализа и механических свойств сварных соединений представлены в табл. 2 и 3. Результаты замеров твёрдости представлены в табл. 4.

Анализ результатов механических испытаний показывает, что предел прочности сварных соединений, выполненных электрошлаковой сваркой равноценен, а ударная вязкость превышает соответствующие величины, полученные при испытании основного металла. Механические свойства металла шва превышают механические свойства основного металла.

Для более глубокого анализа качества сварных соединений проводились также металлографические исследования. В эти исследования входило изучение макроструктуры с помощью бинокулярной лупы (увеличение 24) и микроструктуры с помощью микроскопа.

В настоящей работе контроль качества сварных соединений осуществляли на макрошлифах, протравленных персульфатом аммония. Макрошлифы изготавливали из темплетов, вырезанных из опытных сварных образцов.

Для изучения микроструктуры использовали ударные образцы после их испытаний.

Исследовали сварные соединения после нормализации с отпуском и, после отпуска.

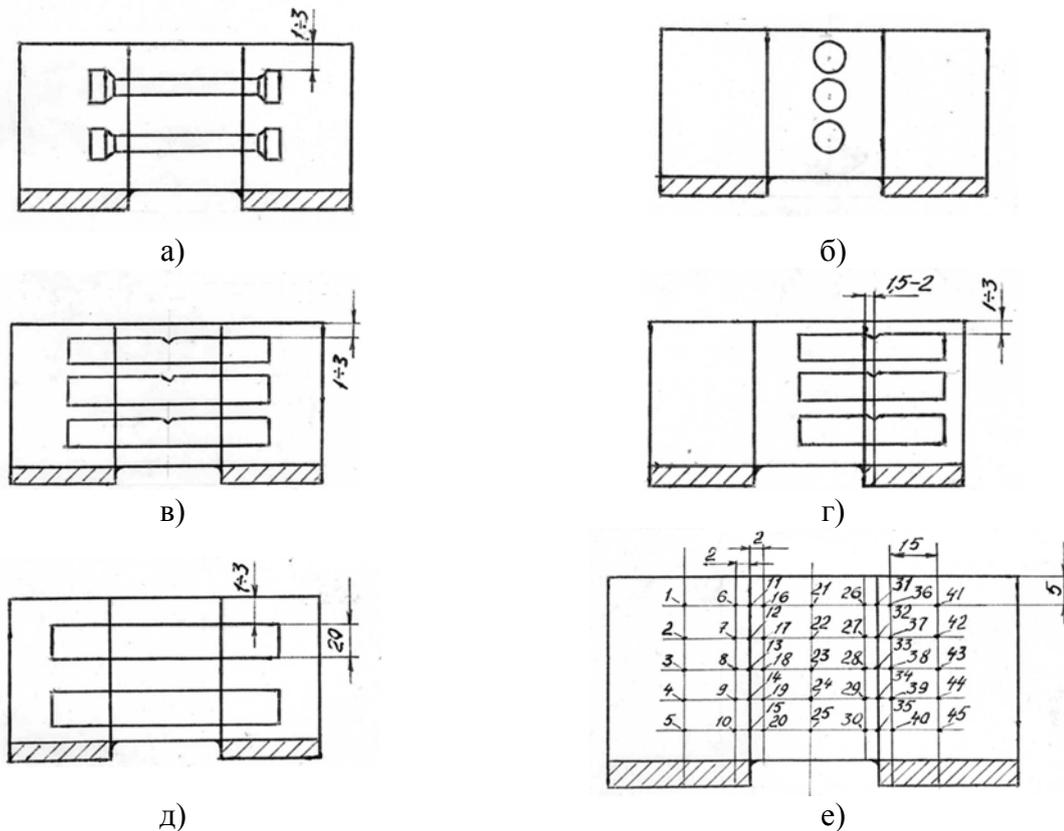


Рис. 3. Схема расположения образцов для механических испытаний: образцы на растяжение сварного соединения (а) и металла шва (б); 4 – образцы на ударную вязкость (в, г); образцы на статический изгиб (д); схема расположения точек для замера твердости (е)

Таблица 2

Химический состав основного металла и металла шва

Место испытания	Химический состав, %								
	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Ni	Mo
Основной металл – сталь 12ХМ	0,16	0,55	0,29	0,020	0,012	0,16	1,15	0,06	0,44
Металл шва	0,11	0,66	0,15	0,018	0,014	1,38	1,44	0,16	0,29

Таблица 3

Механические свойства сварных соединений стали 12ХМ

Место испытания	$\sigma_{0,5}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\psi$ , %	КСУ, Дж/см <sup>2</sup>	Вид термической обработки
1	2	3	4	5	6	7
Сварное соединение	–	485	Разрыв по основному металлу		118	Отпуск 640-650 <sup>0</sup> С
	–	510			154	
	–	510			133	
	–	490			–	
Металл шва	460	560	22,5	72,0	128	
	470	570	22,0	74,0	126	
	455	560	23,5	72,0	140	
Основной металл	304	495	19,7	69,8	73	
	305	502	20,5	69,8	100	
	320	550	21,3	–	62,5	

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7
Сварное соединение	309	495	16,7	66,0	156	Нормализация 970 <sup>0</sup> С, отпуск 590 <sup>0</sup> С
	318	500	19,7	65,0	168	
	316	514	15,7	67,0	210	
	306	490	16,4	66,0	–	
Металл шва	302	478	28,0	73,0	138	
	304	482	35,3	73,0	156	
	302	485	33,7	73,0	150	
Основной металл	314	493	33,7	71,3	100	
	330	504	34,7	69,3	87,5	
	323	513	30,3	57,1	101	

В результате осмотра макро и микрошлифов дефектов обнаружено не было. Микроструктура сварных соединений, прошедших отпуск после сварки имеет перлитно-ферритное строение. Балл зерна основного металла соответствует № 7-8 шкалы. Металл шва имеет структуру перлита с отдельными участками феррита по границам зёрен. Околошовная зона имеет величину зерна, соответствующую 5-6 баллу.

Микроструктура сварных соединений после нормализации с отпуском также имеет перлитно-ферритное строение. Основной металл и околошовная зона имеют равноосные зёрна величиной, соответствующей 7-8 баллу, а металл шва – 6-7 баллу.

Таблица 4

Результаты измерения твердости металла сварных соединений стали 12ХМ

№ пробы	Околошовная зона		Металл шва	Основной металл	Вид термической обработки
	Точки №1-20	Точки №26-45	Точки №21-25	Точки №46-55	
ТП-6	133-145-143- 133-140-179- 181-179-177- 179-177-165- 185-177-177- 185-177-177- 177-177	143-148-145- 143-143-185- 177-177-177- 172-185-169- 169-165-169- 177-177-177- 172-177	170-179- 177-174-170	175-131-140- 140-138-115- 140-138-138- 129	Отпуск 640-650 <sup>0</sup> С
ТП-7	149-149-149- 156-149-149- 149-143-147- 143-156-143- 143-157-149- 156-156-156- 149-147	149-156-149- 156-156-149- 143-149-156- 156-149-143- 156-163-156- 149-156-163- 163-156	149-156- 156-149-149	148-140-147- 143-149-156- 143-148-150 147	Нормализация 970 <sup>0</sup> С, отпуск 590 <sup>0</sup> С

### ВЫВОДЫ

1. Установлено, что механические свойства сварных соединений стали 12ХМ, выполненных электрошлаковой сваркой и прошедших термическую обработку – отпуск удовлетворяют требованиям СОУ МПП 71.120-217:2009 «Посудини та апарати сталеві зварні» и составляют:  $\sigma_B = 565$  МПа;  $K_{SU} = 120$  кДж/см<sup>2</sup>;  $\alpha = 180^\circ$ . При испытаниях сварных соединений разрыв образцов происходил по основному металлу.

2. В ходе металлографических исследований макро- и микроструктуры дефектов обнаружено не было.

3. Разработанный технологический процесс может быть использован при электрошлаковой сварке криволинейных стыков изделий из двухслойных сталей.

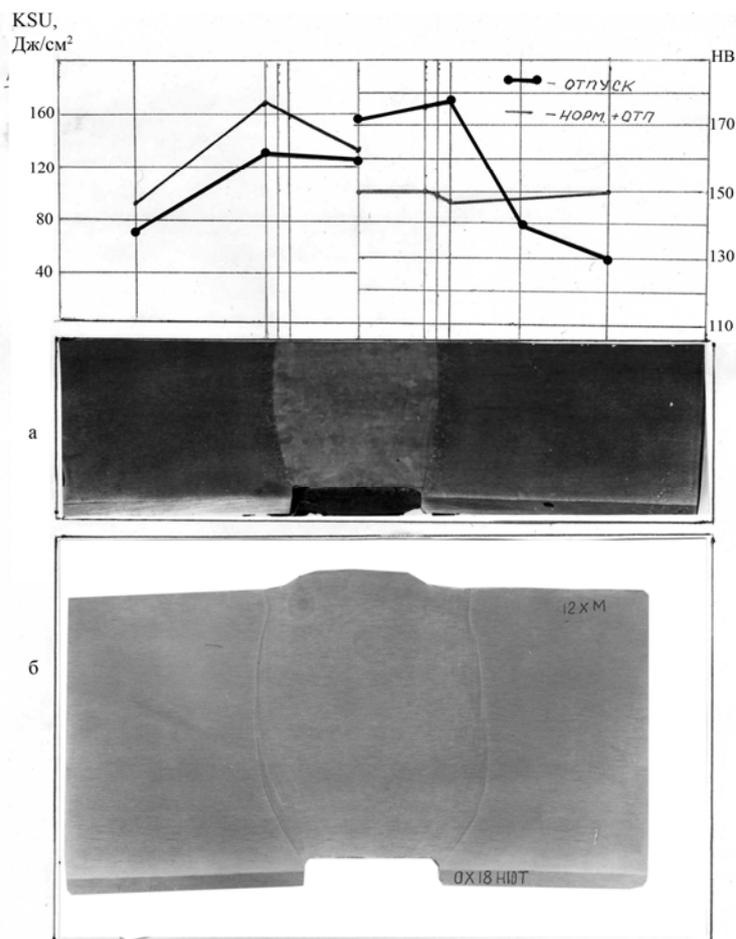


Рис.4. Значения НВ и макрошлифы сварного соединения после отпуска (а) и нормализации с отпуском (б)

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов В. М. Изготовление крупных конструкций с применением электрошлаковой сварки. – Краматорск : ДГМА, 2012. – 228 с.
2. Ресурсосберегающие технологии при производстве сварных заготовок / В. М. Семенов, А. В. Жартовский, В. И. Кабацкий [и др.] // МОН Украины ДДМА. – Краматорск, 2009. – 160 с.
3. Перспективы производства сварных толстостенных биметаллических корпусов сосудов высокого давления / Б. Е. Патон, А. Д. Чепурной, В. Я. Саенко, Л. Б. Медовар // Автоматическая сварка. – 2004. – № 1. – С. 30 – 39.
4. Герасименко И. Н. Сварка двухслойной стали с хромистым защитным слоем. – Машиз, М., 1962. – 176 с.
5. Кривошея В. С. Образование при электрошлаковой сварке двухслойных сталей (Ст.3 + 08X12, Ст.3 + IX18H9T) «усов», ослабляющих соединение // Сварочное производство. – 1971. – № 9. – С. 37 – 39.
6. Оборудование, техника и технология электрошлаковой сварки неповоротных кольцевых стыков / Б. Е. Патон [и др.] // Автоматическая сварка. – 2007. – № 7. – С. 25 – 28
7. Технологические особенности изготовления днищ реакторов с использованием электрошлаковой сварки / В. М. Семенов, А. В. Кабацкий, С. С. Красовский, В. В. Хорошайло // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії [Електронний ресурс]. – Краматорськ : ДДМА. – 2015. – № 3 (36). – С. 70–74.

Статья поступила в редакцию 15.04.2017 г.