

УДК 621.791

ВЛИЯНИЕ ИСТОЧНИКА НАГРЕВА НА ЛЕГИРОВАНИЕ НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СОЕДИНЕНИЙ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Мамадалиев Р.А., Кусков В.Н., Галинский А.А.

ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет»,
Тюмень, e-mail: vnkuskov@yandex.ru.

Тип источника питания практически не влияет на степень перехода легирующих элементов в наплавленный металл (в пределах погрешности измерений), за исключением использования электродов ЦЛ-9, когда содержание элементов в наплавленном металле при сварке с выпрямителем ВДУ-506 на 0,3–1,3 массовых % выше. Преимущество инверторного источника питания, обеспечивающего больший переход легирующих элементов, наблюдается в случае получения сварного соединения на повышенном токе 140 А. С увеличением эффективной тепловой мощности степень перехода легирующих элементов в наплавленный металл изменяется в пределах погрешности измерений, за исключением получения соединений электродами ЦЛ-9 и ОЗЛ-8. В этих случаях различие концентрации может достигать 4,6 масс. %. Максимальное содержание хрома и никеля в наплавленном металле во всех случаях наблюдали при сварке пластин из стали 12Х18Н10Т при использовании электродов ОК 61.30 и Feji ER-308, а при соединении пластин из стали 20Х13 – когда применили электроды ЦЛ-9.

Ключевые слова: хром, никель, марганец, сталь 12Х18Н10Т, 20Х13, выпрямитель сварочный, инверторный источник питания, сила тока

THE INFLUENCE OF A SOURCE OF HEATING FOR ALLOYING THE WELD METAL UPON RECEIPT OF THE CONNECTION OF HIGH-ALLOYED STEELS

Mamadaliyev R.A., Kuskov V.N., Galinskiy A.A.

FGBO of higher professional education «Tyumen State Oil and Gas University»,
Tyumen, e-mail: vnkuskov@yandex.ru

Type of power source does not influence the degree of alloying of the weld metal (within the measurement error), except for the use of electrodes ЦЛ-9, when the content of elements in the weld metal during welding rectifier TPL-506 0,3–1,3 mass% higher. The advantage of inverter power source, providing greater transition alloying elements is observed in the case of welded joints at high current of 140 A. With the increase of the effective thermal capacity of the power transition alloying elements in the weld metal varies within the measurement error, except for the preparation of compounds of the electrodes and the ЦЛ-9 RLA-8. In these cases, the difference may reach a concentration of 4,6 wt.%. The maximum content of chromium and nickel in the weld metal in all cases observed when welding steel plates 12Х18Н10Т using electrode ОК 61,30 Feji ER – 308, and when connecting steel plates 20Х13 – when applied electrodes ЦЛ-9.

Keywords: chromium, nickel, manganese, steel 12Х18Н10Т, 20Х13, welding rectifier, inverter power source, current intensity

Материалы и методы исследования

В работе использовали традиционный выпрямитель ВДУ-506 и инвертор Handy TIG 180 AC/DC Control Pro при силе сварочного тока 60, 80, 100 А (из интервала значений, рекомендованных заводом-изготовителем электродов) [1–2]. Изменение силы тока отражается на протяженности зоны термического влияния и должно воздействовать на содержание элементов в наплавленном металле, что может при-

вести к изменению его структуры. Пластины сталей 12Х18Н10Т и 20Х13 сваривали встык, марки и химический состав исследованных электродов диаметром 3,2 мм приведены в табл. 1–2.

Для определения химического состава наплавленного металла и электродных стержня и покрытия использовали рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) зачищенного шва на спектрометре X-MET 5000 с пакетом программ X MET. Перед проведением РФА поверхность исследуемых образцов шлифовали.

Таблица 1

Химический состав электродных стержней

Марка электрода	C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	Ni, %	Nb, %	S, %	P, %
ОК 76.35	0,09	0,11	0,5	0,03	–	–	0,011	0,010
ОЗЛ-6	0,09	0,7	1,42	20,9	11,51	0,52	0,015	0,010
УОНИ-13НЖ	0,11	0,09	0,64	10,45	0,4	–	0,025	0,030
ЦЛ-9	0,08	0,36	1,71	17	11	0,9	0,010	0,020
Feji ER-308	0,06	0,5	2,04	18,95	9,77	0,01	0,02	0,03
ОК 61.30	0,05	0,05	2,03	19,55	9,66	0,02	0,01	0,02
ОЗЛ-8	0,6	1	1,92	17,58	8,33	0,01	0,018	0,025

Таблица 2

Химический состав электродных покрытий

Марка электрода	Si, %	Mn, %	Cr, %	Mo, %	Ca, %	Ti, %	V, %	Fe, %
ОК 76.35	0,6	3,1	8,5	0,89	28,97	7,7	0,084	8,5
ОЗЛ-6	1,44	3,67	3	0,07	32,97	3,24	0,074	6,2
УОНИ-13\НЖ	2,1	9,4	21,08	1,08	21,76	6,9	0,09	40
ЦЛ-9	0,87	9,4	25,19	0,87	33,08	8,9	0,075	38,18
Feji ER-308	0,8	4,94	15,95	0,19	25	21,03	0,93	27,33
ОК 61.30	1,5	4,69	17,16	0,35	20	7,01	1,03	41,07
ОЗЛ-8	1,6	2,56	2,5	0,02	30	4,10	0,05	1,86

Эффективную тепловую мощность источника нагрева определяли по параметрам дуги [3]:

$$Q_e = \eta \cdot U \cdot I,$$

где Q_e – эффективная тепловая мощность дуги, Вт; η – эффективный КПД сварочной дуги (для ручной дуговой сварки приняли $\eta = 0,7$); U – напряжение дуги, В; I – сварочный ток, А.

Инверторный источник обладает большей величиной Q_e на 12% по сравнению с выпрямителем.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 3 приведены результаты определения химического состава наплавленного металла.

Таблица 3

Содержание легирующих элементов в наплавленном металле

№ п/п	Электрод	Св. ток, А	Химический состав наплавленного металла, %					
			ВДУ-506			Handy TIG 180 AC/DC		
			Cr	Ni	Mn	Cr	Ni	Mn
Для стали 12X18H10T								
1	Feji ER-308	60	18,28	9,56	1,19	18,18	9,76	1,1
2		80	18,36	9,86	1,02	18,6	9,9	1,01
3		100	18,31	9,82	0,94	18,55	9,88	0,9
4	ОЗЛ-8	60	17,2	8,97	1,69	17,29	9,11	1,46
5		80	17,14	8,54	1,92	17,08	8,41	1,92
6		100	17,02	8,43	1,99	18,5	8,29	1,95
7	ОК 61.30	60	19,16	9,75	0,78	19,42	9,59	0,8
8		80	18,82	9,65	0,85	18,77	9,65	0,86
9		100	18,75	9,68	0,88	19,2	9,65	0,83
Для стали 20X13								
10	УОНИ-13\НЖ	60	13,2	0,48	0,39	13,14	0,4	0,39
11		80	13,06	0,46	0,6	12,84	0,39	0,54
12		100	12,67	0,39	0,39	12,54	0,42	0,31
13	ЦЛ-9	60	17,49	11,2	1,17	16,16	9,5	0,86
14		80	16,26	9,8	1,03	15,11	9,75	0,67
15		100	13,50	10,5	0,58	12,5	10,4	0,26

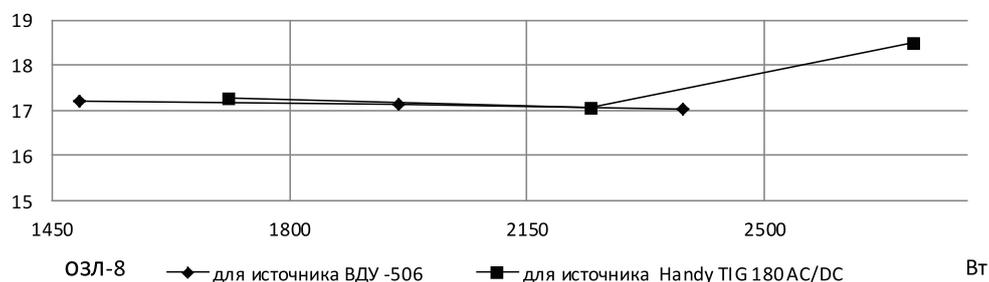
На рис. 1–3 приведены примеры зависимостей содержания легирующих элементов в наплавленном металле от эффективной тепловой мощности дуги.

В наплавленный металл переходит требуемое количество хрома, достаточное для обеспечения коррозионной стойкости металла шва [4]. При этом сталь 20X13 имеет мартенситную или феррито-мартенситную (в зависимости от скорости охлаждения) структуру, а сталь 12X18H10T – аустенит-

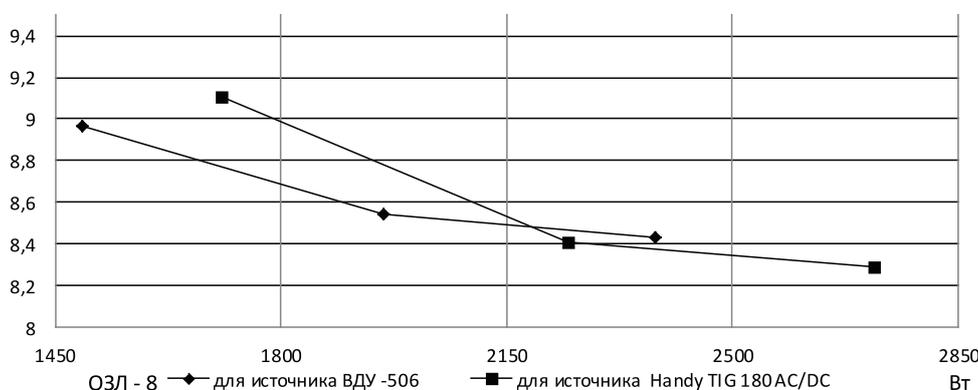
ную. Тип источника питания практически не влияет на степень перехода легирующих элементов в наплавленный металл (в пределах погрешности измерений), за исключением использования электродов ЦЛ-9. В этом случае содержание элементов в наплавленном металле при сварке с выпрямителем ВДУ-506 на 0,3–1,3 массовых % выше. Минимальное из указанных значений наблюдается при переходе марганца, содержание которого в металле невелико. Преимущество инверторного ис-

точника питания, обеспечивающего больший в случае получения сварного соединения на переход легирующих элементов наблюдается повышенном токе 140А.

Хром



Никель



Марганец

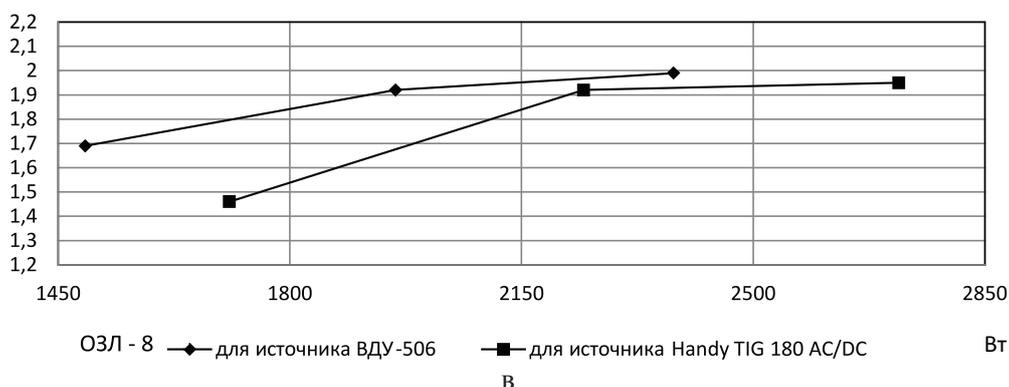


Рис. 1. Зависимость содержания легирующих элементов в наплавленном металле от эффективной тепловой мощности дуги при получении соединений стали 12Х18Н10Т электродами ОЗЛ-8

С увеличением эффективной тепловой мощности степень перехода легирующих элементов в наплавленный металл изменяется в пределах погрешности измерений, за исключением получения соединений электродами ЦЛ-9 и ОЗЛ-8. В этих случаях различие концентрации может достигать

4,6 масс. %. Слабая зависимость степени перехода элементов от Q_3 может определяться составом электродного покрытия, а также малым интервалом исследованных значений эффективных мощностей, который был выбран в соответствии с рекомендациями завода-изготовителя электродов.

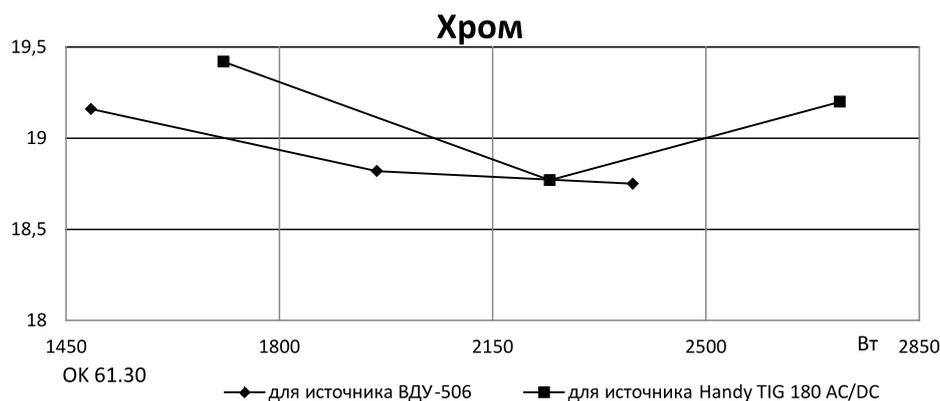


Рис. 2. Зависимость содержания хрома в наплавленном металле от эффективной тепловой мощности дуги при получении соединений стали 12X18H10T электродами ОК 61.30

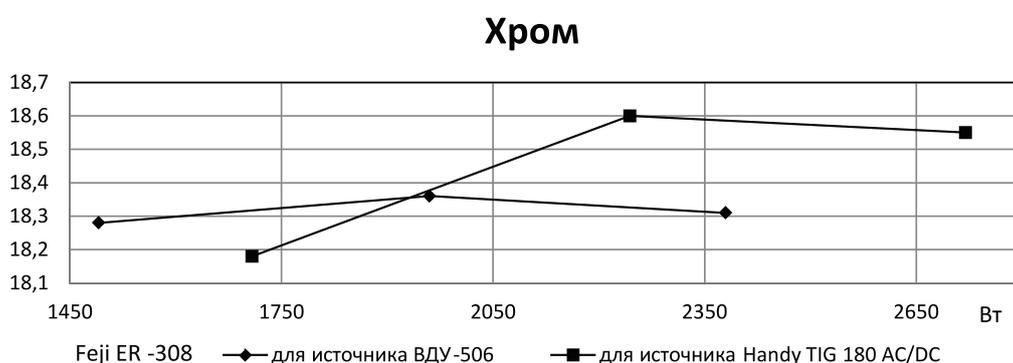


Рис. 3. Зависимость содержания хрома в наплавленном металле от эффективной тепловой мощности дуги при получении соединений стали 12X18H10T электродами Feji ER-308

Максимальное содержание хрома и никеля в наплавленном металле при сварке пластин из стали 12X18H10T наблюдали в случае использования электродов ОК 61.30 и Feji ER-308, а при соединении пластин из стали 20X13 – когда применили электроды ЦЛ-9. В указанных случаях хром переходил как из электродного стержня, так и из покрытия; никель – только из стержня, т.к. он обладает малым сродством к кислороду [5] и практически не окисляется в процессе сварки.

Список литературы

1. Кусков В.Н., Мамадалиев Р.А., Обухов А.Г. Переход легирующих элементов в наплавленный металл при сварке стали 12X18H10T // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 11 (часть 9). – С. 1794–1797.
2. Кусков В.Н., Обухов А.Г., Мамадалиев Р.А. Влияние режима на переход хрома в наплавленный металл при сварке стали 20X13 // *Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии*. – 2013. – № 2 (120). – С. 54–56.
3. Куликов В.П. *Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки*. – Минск: Экоперспектива, 2003. – 415 с.; ил.
4. Кусков В.Н. Способ термической обработки стальных деталей. Пат. на изобр. № 2061089 // *Изобретения*. № 15, от 27.05.1996. – С. 236.
5. Физико-химические свойства окислов / под ред. Г.В. Самсонова. – М.: *Металлургия*, 1978. – 472 с.

References

1. Kuskov V.N. Mamadaliev R.A., Obukhov A.G. The transition of the alloying elements in the weld metal when welding steel 12X18H10T, *Fundamental research* 2013, Vol. 5, no. 11, pp. 1794–1797: www.rae.ru/fs/?section=content&op=show_article&article_id=10002726.
2. Kuskov V.N. Mamadaliev R.A., Obukhov A.G. Influence of the mode transition of chromium in the weld metal when welding steel 20X13. *Omsk scientific Bulletin. A series of Devices, machines and technologies*, 2013, Vol. 2 no. 120. pp. 54–56. <http://lib.omgstu.ru>.
3. Kulikov V.P. *Technology and equipment for fusion welding and thermal cutting*. Minsk: Copernicia, 2003. pp. 415.
4. Kuskov V.N. Method of heat treatment of steel parts. Pat. on the image. no. 2061089. *Invention*. no. 15. 27.05.1996. pp. 236.
5. *Physico-chemical properties of oxides* Ed. by G.V. Samsonov. M.: *metallurgy*, 1978 pp. 472.

Рецензенты:

Артамонов Е.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Станки и инструменты» Института промышленных технологий и инжиниринга, г. Тюмень;

Некрасов Ю.И., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Института промышленных технологий и инжиниринга, г. Тюмень.

Работа поступила в редакцию 10.10.2014.