

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАПЛАВКИ ЭЛЕМЕНТОВ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ РУЧНОЙ ДУГОВОЙ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКОЙ ПОД СЛОЕМ ФЛЮСА

УДК 621.791

А.Г. Кудасов, ООО «Газпром добыча Астрахань» (Астрахань, РФ), akudasov@astrakhan-dobycha.gazprom.ru

Т.Э. Пантелеева, ООО «Газпром добыча Астрахань», tpanteleeva@astrakhan-dobycha.gazprom.ru

В.Н. Мещеряков, ООО «Газпром добыча Астрахань», vmesheryakov@astrakhan-dobycha.gazprom.ru

А.В. Чурносов, ООО «Газпром добыча Астрахань», achurnosov@astrakhan-dobycha.gazprom.ru

А.А. Халявкин, к.т.н., ООО «Газпром добыча Астрахань», akhalyavkin@astrakhan-dobycha.gazprom.ru

В статье проводится анализ ремонта трубопроводной арматуры путем наплавки, а также рассмотрены основные показатели экономической эффективности при проведении восстановительных работ по ремонту запорно-регулирующей арматуры. Сравниваются два основных способа выполнения сварочных работ в промышленности и строительстве: ручная дуговая наплавка и автоматическая наплавка под слоем флюса.

Длительное время на объектах Астраханского газоконденсатного месторождения применялась ручная дуговая наплавка штучными электродами. Применяемый способ не обеспечивал необходимой производительности и требуемого качества наплавки. Для улучшения качества наплавки механизирован процесс движения электрода, что позволило автоматизировать процесс сварки.

Проведен ряд экспериментальных исследований для оценки таких основных критериев автоматической сварки под флюсом и ручной дуговой сварки, как экономия затрачиваемого материала и времени, качество ремонта, безопасность. В ходе эксперимента произведена наплавка на образцах размерами 500 × 500 × 12 мм и выполнен металлографический анализ двух видов наплавки. Для проведения работ по наплавке разработаны и аттестованы соответствующие технологии согласно требованиям нормативных и регламентирующих документов по сварке. В ходе сравнительного анализа времени, затрачиваемого при проведении двух видов наплавки, а также количества использованных сварочных материалов рассмотрен процесс наплавки 5000 элементов арматуры в год.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СВАРКА, НАПЛАВКА, ТРУБОПРОВОДНАЯ АРМАТУРА, РЕМОНТ, ИЗНОС.

Астраханский газоперерабатывающий завод (АГПЗ) является сложным технологическим комплексом, оборудование которого работает в условиях воздействия высококоррозионных сред. В технологической схеме АГПЗ задействовано более 200 тыс. ед. запорно-регулирующей арматуры (ЗРА), на которую помимо коррозионно-активных сред воздействует ряд таких негативных факторов, как высокая температура, наличие механических примесей, перепады давления и т. д. В соответствии с графиком проводится периодическое

техническое освидетельствование запорной арматуры и при необходимости ее ремонт.

В ремонтно-механическом цехе (РМЦ) АГПЗ ООО «Газпром добыча Астрахань» ежегодно ремонтируется свыше 10 тыс. ед. арматуры (рис. 1). Надежность работы арматуры зависит от ее конструктивных особенностей, материального исполнения и, что наиболее важно, ремонтно-пригодности. Одним из условий рабочего состояния арматуры выступает ее герметичность, способная нарушаться в процессе эксплуатации.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При обнаружении негерметичности арматуры возникает необходимость в восстановлении уплотнительных поверхностей. Для этого долгое время применялась ручная дуговая наплавка (РДН) штучными электродами. Применяемый способ не обеспечивал необходимой производительности и требуемого качества наплавки, так как при ручной дуговой наплавке невозможно добиться равномерности толщины наплавленного слоя. При этом работа занимала значительный период времени, что, в свою очередь, требовало привлечения

Kudasov A.G., Gazprom dobycha Astrakhan LLC (Astrakhan, Russian Federation),

akudasov@astrakhan-dobycha.gazprom.ru

Panteleeva T.E., Gazprom dobycha Astrakhan LLC, tpanteleeva@astrakhan-dobycha.gazprom.ru

Meshcheryakov V.N., Gazprom dobycha Astrakhan LLC, vmesheryakov@astrakhan-dobycha.gazprom.ru

Churnosov A.V., Gazprom dobycha Astrakhan LLC, achurnosov@astrakhan-dobycha.gazprom.ru

Khalyavkin A.A., Candidate of Sciences (Engineering), Gazprom dobycha Astrakhan LLC,

akhalyavkin@astrakhan-dobycha.gazprom.ru

Comparative analysis of weld overlay of the pipe fitting elements by electrode welding and automatic welding under the flux layer

The article analyzes the repair of pipeline fittings by weld overlay, and also considers the main indicators of economic efficiency in carrying out restoration work on repair of shut-off and control valves. Two main methods of welding in industry and construction are compared: electrode welding and automatic welding under the flux layer.

The electrode welding with stick electrodes was used at the facilities of the Astrakhanskoe gas condensate field for a long time. The applied method did not provide the required productivity and quality of weld overlay. The weld overlay quality was improved by automation of the welding process due to mechanization of the electrode movement.

A number of experimental studies was performed to assess the basic criteria of automatic welding under the flux layer: the saving of expended material and time, the quality of repair and safety. The weld overlay was made on the samples of 500 × 500 × 12 mm in size, and the metallographic analysis of two types of weld overlay was performed during experiment. The appropriate technologies were developed and certified in accordance with the requirements of regulatory and regulatory documents on welding for performance of weld overlay. The weld overlay process of 5000 elements per year was considered during comparative analysis of time spent on two types of weld overlay, as well as the amount of used welding consumables.

KEYWORDS: WELDING, WELD OVERLAY, PIPE FITTING, REPAIR, WEAR PROBLEM.

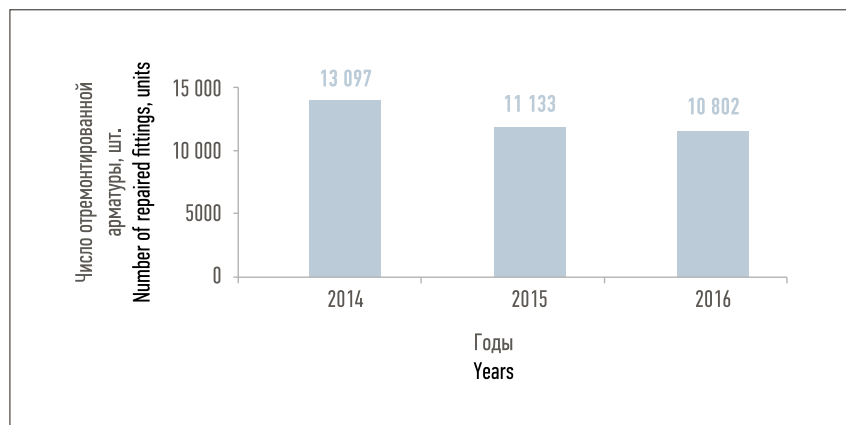


Рис. 1. Число отремонтированной арматуры в ремонтно-механическом цехе в год
Fig. 1. Number of repaired fittings in the mechanical repair department per year

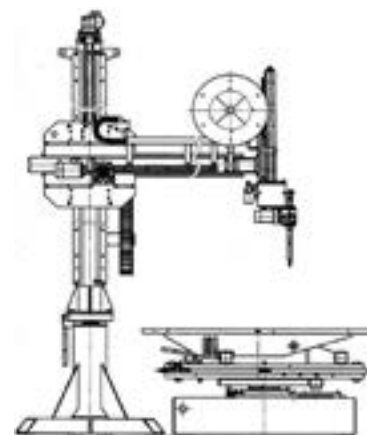


Рис. 2. Установка УН-3Ф, 3890 × 1800 × 4300 мм
Fig. 2. UN-3F unit, 3890 × 1800 × 4300 mm

большого числа сварщиков для проведения наплавки. Для повышения производительности и качества наплавки принято решение о подборе новых высокоэффективных методов восстановления уплотнительных поверхностей ЗРА. Приоритетным направлением выбран поиск отечественных производителей оборудования. По результатам исследования рынка наилучшим вариантом признано оборудование для восстановления уплотнительных поверхно-

стей производства Пензенского конструкторско-технологического бюро арматуростроения.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Для проведения работ были закуплены две установки автоматической наплавки: под слоем флюса УН-3Ф (АФПН) и аргонодуговой наплавки УН-2Г. Общий вид установки УН-3Ф представлен на рис. 2. Данные установки предназначены для высококачественной автоматической наплавки

уплотнительных поверхностей деталей и узлов трубопроводной арматуры. Установки состоят из следующих основных частей: вращателя, колонны, подвесной наплавочной головки, системы управления и источника сварочной дуги.

Для проведения работ по наплавке были разработаны и аттестованы соответствующие технологии согласно требованиям нормативных и регламентирующих документов по сварке.

Изношенные детали арматуры (уплотнительные поверхности клиньев и седел ЗРА) можно восстанавливать до первоначальных номинальных размеров или до новых ремонтных размеров, в дальнейшем не оказывающих влияния на их технические характеристики.

Наплавочные работы, используемые при ремонте арматуры, являются основными и ключевыми видами работ при ремонте. После проведения наплавочных работ детали арматуры подвергаются механической обработке на координатно-расточном станке и при необходимости доводятся шлифованием до нужной чистоты поверхности на шлифовальном станке. В табл. 1 представлен объем использования наплавочных работ при ремонте ЗРА в РМЦ.

Для анализа двух способов восстановления уплотнительных поверхностей арматуры была произведена наплавка на образцах размерами 500 × 500 × 12 мм (рис. 3). Наплавленные слои имели геометрические размеры $\varnothing 330 \times \varnothing 290 \times 7$ мм.

Технические требования к наплавленному материалу, химический состав и механические свойства при наплавке РДН электродами Э-10Х25Н13Г2-03Л-6 $\varnothing 3$ мм и при наплавке АФП проволокой Св-07Х25Н12Г2Т $\varnothing 3$ мм указаны в табл. 2-3. Металл наплавленного шва не склонен к межкристаллитной коррозии.

Таблица 1. Наплавочные работы при ремонте арматуры
Table 1. Weld overlay work in the repair of fittings

Вид ремонта Type of repair	Число ремонтов, ед. Number of repairs, units			Использование наплавочных работ при ремонте, % Use of weld overlay work during repair, %
	2014 г.	2015 г.	2016 г.	
Средний Midlife repair	3531	1817	1865	50
Капитальный Overhaul repair	9566	9316	8937	90

Таблица 2. Химический состав наплавленного металла
Table 2. Chemical composition of weld metal

Элемент, мас. % Element, wt. %	Наплавка РДН электродами Э-10Х25Н13Г2-03Л-6 $\varnothing 3$ мм Weld overlay by electrode welding with electrodes E-10H25N13G2-0ZL-6 $\varnothing 3$ mm	Наплавка АФП проволокой Св-07Х25Н12Г2Т $\varnothing 3$ мм Weld overlay made by automatic welding with wire Sv-07H25N12G2T $\varnothing 3$ mm
C	<0,12	0,06
Si	<1,00	0,69
Mn	<0,12	1,95
Cr	22,5–27,0	24,36
Ni	<0,12	12,44
Mo	–	0,07
Ti	–	0,47
S	<0,020	0,01
P	<0,12	0,023
Cu	–	0,14
V	–	0,05
W	–	0,04
Al	–	0,03
N	–	0,02

При сравнительном анализе экспериментального исследования с теоретическим расход сварочного материала не превышает

3 % (табл. 4). Затрачиваемое время при ручной дуговой наплавке составляет 1,6 ч, под слоем флюса – 0,35 ч.

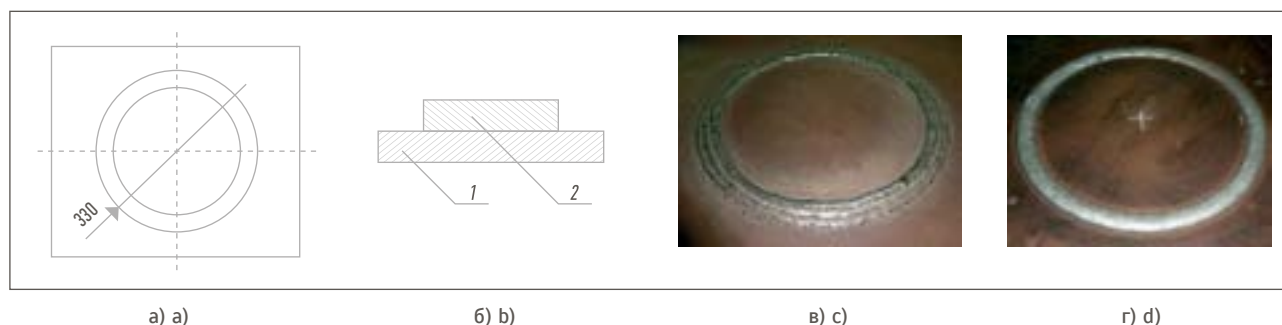


Рис. 3. Исследованные образцы: а) пластина из материала СТ20, размер 500 × 500 × 12 мм, диаметр шва 330 мм; б) разрез образца (1 – основа; 2 – наплавленный слой высотой 7 мм и шириной 20 мм); в) наплавка РДН электродами Э-10Х25Н13Г2-03Л-6 $\varnothing 3$ мм; г) наплавка АФП проволокой Св-07Х25Н12Г2Т $\varnothing 3$ мм
Fig. 3. Tested samples: a) plate from ST20 material, 500 * 500 * 12 mm in size, diameter of weld joint is 330 mm; b) sample section (1 – base; 2 – welded layer of 7 mm high and 20 mm wide); c) weld overlay made by electrode welding with electrodes E-10H25N13G2-0ZL-6 $\varnothing 3$ mm; d) weld overlay made by automatic welding with wire Sv-07H25N12G2T $\varnothing 3$ mm

Таблица 3. Механические свойства наплавленного металла
Table 3. Mechanical properties of the weld metal

Параметр Parameter	Наплавка РДН электродами Э-10Х25Н13Г2-03Л-6 Ø 3 мм Weld overlay by electrode welding with electrodes E-10H25N13G2-0ZL-6 Ø 3 mm	Наплавка АФПН проволокой Св-07Х25Н12Г2Т Ø 3 мм Weld overlay made by automatic welding with wire Sv-07H25N12G2T Ø 3 mm
Предел прочности, МПа Stress limit, MPa	540	589,5
Предел текучести, МПа Flow limit, MPa	340	361,3
Относительное сужение, % Contraction ratio, %	25	–
Относительное удлинение, % Percentage elongation, %	–	36
Ударная вязкость при 20 °С, Дж/см ² Toughness at 20 °C, J/cm ²	90	128,7
Ударная вязкость при –20 °С, Дж/см ² Toughness at –20 °C, J/cm ²	–	97,4

Таблица 4. Затрачиваемое время и расход сварочного материала при наплавке
Table 4. Time consumed and welding consumable consumption during weld overlay

Вид наплавки Type of weld overlay	Масса наплавленного слоя, кг Weight of weld layer, kg	Время, ч Time, h	Расход сварочного материала, кг Welding consumable consumption, kg		Δ, %
			теоретический, кг theoretical, kg	экспериментальный, кг experimental, kg	
РДН Electrode welding	1,14	1,6	1,88	1,83	2,7
АФПН Automatic welding		0,35	1,17	1,2	2,5

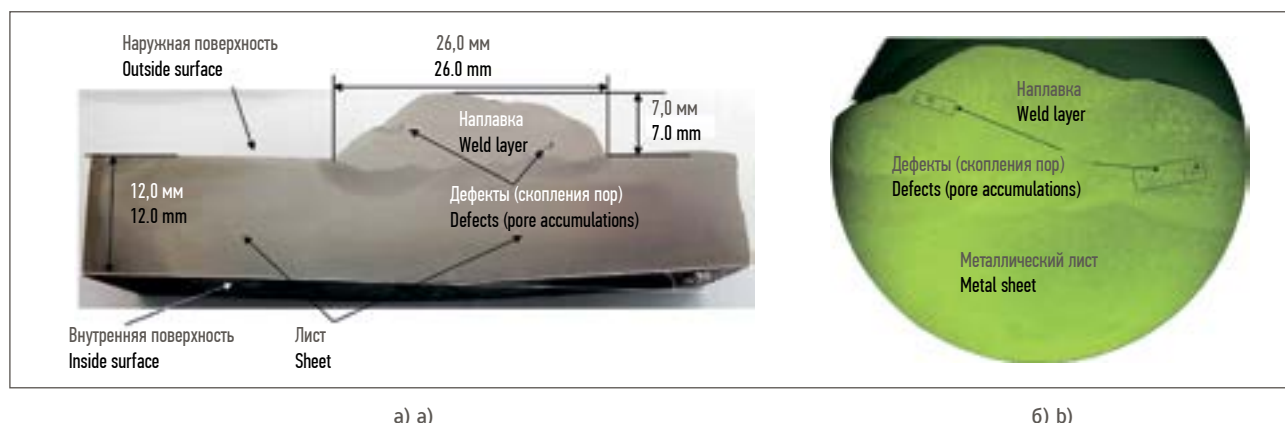


Рис. 4. Шлиф образца после РДН: а) общий вид наплавленного слоя; б) скопления пор (фото под микроскопом МБС-10)
Fig. 4. Materialographic specimen after electrode welding: a) general view of the welded layer; b) pore accumulations (photo with the MBS-10 microscope)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведен металлографический анализ двух видов наплавки. При ручной дуговой наплавке было обнаружено скопление пор (рис. 4). При автоматической наплавке дефектов обнаружено не было (рис. 5). При сравнительном анализе геометрических параме-

тров наплавленных слоев выявлено, что слой, полученный при ручной дуговой наплавке, получился по высоте и ширине более неравномерным, что усложнит его последующую механическую обработку при ремонте арматуры (например, точение на расточном станке).

Для сравнительного анализа времени, затрачиваемого при проведении двух видов наплавки, а также количества использованных сварочных материалов был рассмотрен процесс наплавки 5000 элементов арматуры в год, принимались средний диаметр Ø 500 мм, высота наплавочного

Таблица 5. Результаты сравнительного анализа при наплавке элементов арматуры
Table 5. Results of comparative analysis for weld overlay of fitting elements

δ , мм δ , mm	M, кг M, kg	$M_э$, кг $M_э$, kg	M_n , кг M_n , kg	$C_э$, тыс. руб. $C_э$, thousand roubles	C_n , тыс. руб. C_n , thousand roubles	Э, тыс. руб. Э, thousand roubles	$t_э$, ч $t_э$, h	t_n , ч t_n , h	Δt , ч Δt , h
2,5	3081,1	5084	3173,6	3101,2	3097,1	4,1	3925	2616,7	1308,3
5,0	6162,3	10 167,7	6347,1	6202,3	5159,9	1042,4	7850	2616,7	5233,3
7,5	9243,4	15 251,6	9520,7	9303,5	7222,7	2080,8	11 775	2616,7	9158,3

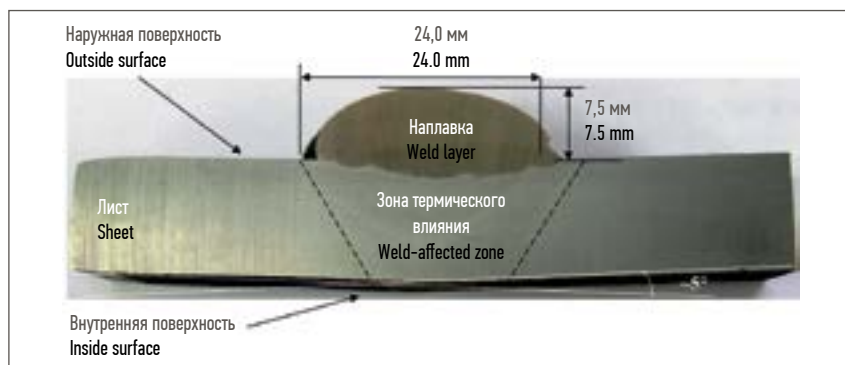


Рис. 5. Шлиф образца после АФПН
Fig. 5. Materialographic specimen after automatic welding

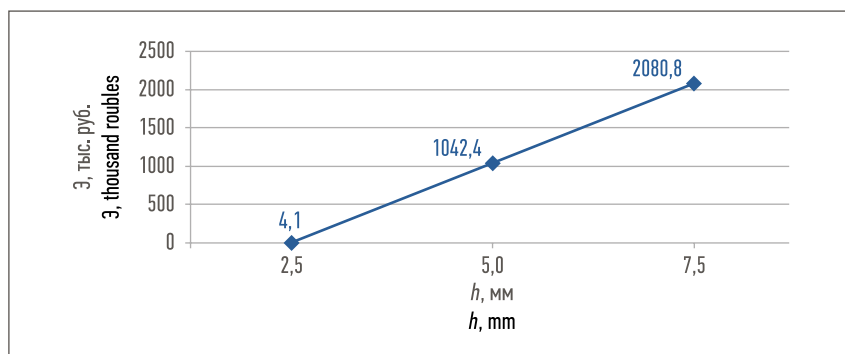


Рис. 6. Зависимость разности стоимости материалов Э от толщины наплавленного слоя h
Fig. 6. Dependence of the difference in the cost of materials Э on the thickness of the weld layer h

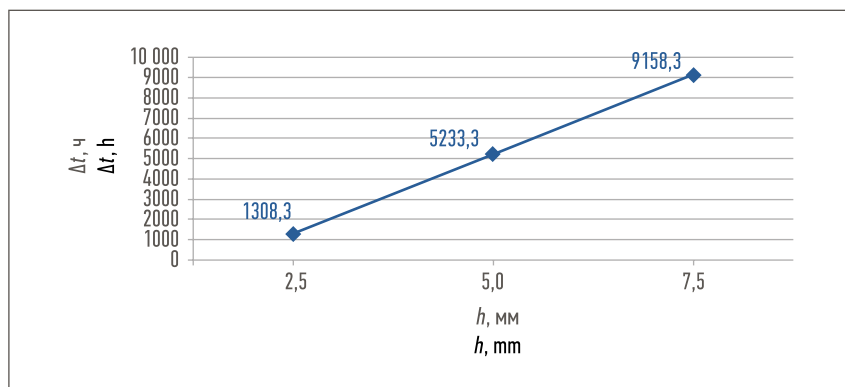


Рис. 7. Зависимость разности затрачиваемого на наплавку времени Δt от толщины наплавленного слоя h
Fig. 7. Dependence of the difference of time Δt spent on weld overlay on the thickness of the weld layer h

слоя $\delta = 2,5$ мм; 5,0 мм; 7,5 мм. Результаты анализа представлены в табл. 5 (здесь: M – масса наплавленного слоя, кг; $M_э$ – масса электродов, затрачиваемых при РДН; M_n – масса сварочной проволоки, затрачиваемой при АФПН; $C_э$ – стоимость электродов, затрачиваемых при РДН; C_n – стоимость проволоки, затрачиваемой при АФПН; $\Delta t = t_э - t_n$ – разность времени, затрачиваемого при наплавке).

Сравнительный анализ стоимости проводился исходя из принятых средних значений: 610 руб/кг для электродов Э-10Х25Н13Г2-03Л-6 $\varnothing 3$ мм; 650 руб/кг – для проволоки Св-07Х25Н12Г2Т $\varnothing 3$ мм; 65 руб/кг – для флюса.

По данным табл. 5 построены график зависимости разности стоимости материалов Э от толщины наплавленного слоя h (рис. 6) и график зависимости разности времени $t_э$, затрачиваемого при наплавке, от толщины наплавленного слоя h (рис. 7).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных работ и по итогам анализа полученных данных удалось усовершенствовать следующие эффективные показатели: уменьшение времени проведения наплавки, экономия затраченного сварочного материала, улучшение качества полученного наплавочного слоя. Основным значимым показателем следует признать повышение безопасности проведения сварочных работ при использовании автоматической наплавки под слоем флюса. ■