

УДК 621.793

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОЙ ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗАПОРНОЙ ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ

**Ерофеев В.В., Шарафиев Р.Г., Ерофеев С.В., Попов В.В.,
Макаров Л.В., Киреев И.Р., Абдрахманов Н.Х.**

*ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»
ООО «Промстандарт» (г. Челябинск), ОАО «Благовещенский арматурный завод»*

В настоящее время для увеличения срока службы уплотнительных поверхностей запорной и регулирующей арматуры применяется широкий спектр методов упрочняющей обработки и конструкторских решений.

Одним из основных методов повышения надежности и ресурса клапанов, запорной арматуры является плазменная наплавка.

В статье показано, что по результатам проделанных исследований можно сделать вывод о том, что применение технологии плазменной наплавки является перспективным методом реновации рабочих поверхности узлов запорной арматуры. Полученные результаты могут быть полезны специалистам сварочного производства при наплавке рабочих деталей узлов запорной арматуры.

Ключевые слова: трубопроводная арматура, плазменная порошковая наплавка, ручная дуговая наплавка, плазматрон, гранулированные порошки на основе Fe, аргон.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF PLASMA POWDER BUILDING UP OF WORKING SURFACES OF LOCKING PIPELINE FITTINGS

**Erofeev V.V., Sharafiev R.G., Erofeev S.V., Popov V.V.
Makarov L.V., Kireev I.R., Abdrakhmanov N.KH.**

Now the wide range of methods of the strengthening processing and design decisions is applied to increase in service life of sealing surfaces of shutoff and control valves.

One of the main methods of increase in reliability and resource of valves, shutoff valves is plasma building up.

In article it is shown that by results of the done researches it is possible to draw a conclusion that use of technology of plasma building up is a perspective method of renovation of workers of a surface of knots of shutoff valves. The received results can be useful to experts of welding production at building up of working details of knots of shutoff valves.

Keywords: pipeline fittings, plasma powder building up, manual arc building up, the plasmatron, the granulated powders on the basis of Fe, argon.

Введение. Трубопроводная арматура, устанавливаемая на трубопроводах и емкостях и предназначена для управления (перекрытия, регулирования, распределения, смешивания, фазоразделения) потоком рабочей среды (жидких, газообразных, газожидкостных, порошкообразных, суспензий и т. п.) путем изменения проходного сечения [1]. Запорная арматура является неотъемлемой частью любой трубопроводной системы. Расходы на нее составляют, как правило, 10...12 % капитальных вложений и эксплуатационных затрат. При работе в различных системах арматура подвергается самым различным воздействиям: высоким и низким температурам, значительным давлениям, вибрациям, воздействию агрессивных жидкостей. Вследствие этого требования, предъявляемые к арматуре, чрезвычайно разнообразны

Целью данной работы является исследование покрытий, полученных плазменной порошковой наплавкой, позволяющих не только восстановить, но и повысить срок службы рабочих поверхностей запорной арматуры.

Широкое применение при ремонте и восстановлении рабочих поверхностей запорной трубопроводной арматуры (уплотнительных поверхностей, седел, клиньев и т.д.) нашла наплавка износостойкими покрытиями. В частности, на ОАО «Благовещенский арматурный завод» в настоящее время применяются следующие способы и материалы для наплавки рабочих поверхностей запорной трубопроводной арматуры (таблица 1).

Таблица 1. Способы и материалы, применяемые при наплавке рабочих поверхностей запорной арматуры

Основной материал	Способ наплавки	Наплавочный материал
20Л, 20ГЛ, 09Г2С	РДН, ПНП, АФПН	ЦН-6, ЦН-12М
	ПНП	Stellite 6
	АФПН	20Х13
12Х18Н10Т, 12Х17Н9ТЛ, 10Х17Н13М2Т	РДН, ПНП, АФПН	ЦН-6, ЦН-12М

Примечание: РДН – ручная дуговая наплавка, АФПН – автоматическая наплавка под слоем флюса, ПНП – плазменная порошковая наплавка.

Наиболее перспективной из представленных способов наплавки (РДН, ПНП, АФПН) представляется плазменная порошковая наплавка (ПНП), к несомненным достоинствам которой следует отнести: высокое качество наплавляемого металла; малую глубину проплавления основного металла при высокой прочности сцепления; небольшое перемешивание с основным материалов (до 3...8%); возможность наплавки тонких слоев (в пределах 0.5...3 мм).

В настоящее время в отечественной практике при разработке технологий ПНП широкое использование нашли схемы процессов плазменной наплавки и обработки изделий с применением

сжатой дуги прямого действия [2,3,5,11]. В тоже время в зарубежной литературе [13,14] предлагаются схемы процессов плазменной наплавки, в которых наплавка осуществляется с помощью плазматронов с постоянно горящей «пилотной» дугой, т.е. электрической дугой между электродом и соплом плазматрона. Одновременно с «пилотной» дугой работает дуга прямого действия, горящая между электродом плазматрона и наплавляемым изделием.

Ранее дуга, горящая между электродом и соплом (током в диапазоне 12...20 А), называемая «дежурной», использовалась, как правило, в момент запуска основной сжатой дугой и после ее зажигания выключалась. Отличие «пилотной» от «дежурной» дуги состоит в том, что «пилотная» дуга используется в качестве самостоятельного дополнительного источника теплоты, формирующего достаточно мощную регулируемую плазменную струю, совпадающую по направлению с основной сжатой дугой. Введение наплавляемого порошкового материала в двухдуговом плазматроне непосредственно в плазменную «пилотную» дугу обеспечивает дополнительный разогрев частиц порошка, способствует его лучшему растеканию на основном металле изделия, снижению разогрева изделия и уменьшению глубины проплавления [6,7,10].

Применяемая на предприятии ОАО «Благовещенский арматурный завод» технология плазменной наплавки рабочих поверхностей запорной трубопроводной арматуры была разработана в соответствии с требованиями нормативного документа СТ ЦКБА 053 -2008. (Арматура трубопроводная. Наплавка и контроль качества наплавляемых поверхностей). В частности, наплавку рекомендовалось проводить в три слоя, реже в два с использованием гранулированных порошков на основе Fe (марки ЦН-6Л и ЦН-12М) размером частиц 40-300 мкм.

В качестве плазмообразующего и защитного газа при наплавке рекомендовалось использовать аргон (Ar), обеспечивающий наиболее высокую температуру плазмы при наименьшем напряжении дуги, энергии, подводимой к дуге, и коэффициенте использования энергии на нагрев газов.

Для обеспечения стабильного протекания процесса наплавки плазменной дугой рекомендовалось использовать неплавящиеся электроды из чистого вольфрама (W) или с присадком лантана (La_2O_3): $\text{W} + (1-2\%) \text{La}_2\text{O}_3$.

Процесс наплавки износостойких материалов, ввиду различия физических и механических свойств с основным металлом, рекомендовалось производить с предварительным и сопутствующим подогревом. Так же необходимым являлось проведение термической обработки после наплавки.

При соблюдении данных требований наплавляемый слой должен был гарантировать свойства рабочей поверхности (химический состав, твердость) в пределах значений,

ФИЗИКА

представленных в таблицах 2 и 3. Остаточная высота наплавки (после механической обработки) должна быть не менее 3 мм.

Таблица 2. Химический состав порошков ЦН-6Л и ЦН-12М

Тип наплавляемого металла	Марка наплавляемого материала	Fe	Si	Cr	Ni	Mn	Mo	Nb	S	P
13X16H8M5M5Г4Б	ЦН-12М	Основа	3,8-5,2	17-18	8	3-5	3,5-7	0,5-1,2	0,025	0,03
08X17H8C6Г	ЦН-6Л	Основа	4,8-6,4	17-18	9	1-2	-	-	0,025	0,03

Таблица 3. Твердость рабочих поверхностей

Тип наплавляемого металла	Марка наплавочного материала	Твердость HRC
13X16H8M5M5Г4Б	ЦН-12М	38 -50
08X17H8C6Г	ЦН-6Л	27 -34

В качестве примера в таблице 4 приведены режимы проведения плазменной порошковой наплавки рабочей поверхности изделия из стали 09Г2С и режимы операций подогрева и термической обработки для типа наплавляемого металла

ЦН-12М, применяемые на ОАО «Благовещенский завод» (таблица 5).

Таблица 4. Параметры режима плазменной наплавки

Параметр	Значение
Ток дежурной дуги, А	20
Ток основной дуги, А	150-190
Расход порошка, г/мин	30-35
Скорость наплавки, мм/мин	40-70

Таблица 5. Режимы термической обработки

Тип наплавляемого Металла	Основной материал	Температура подогрева, °С	Термическая обработка после наплавки
08X17H8C6Г (ЦН-6Л) 13X16H8M5M5Г4Б (ЦН-12М)	Сталь 20,20Л, 20ГЛ, 09Г2С	200-300	Загрузка в печь не ниже 60 0°С, нагрев (600-650)°С, выдержка 2-3 часа

Как было показано в работе [4] на химический состав наплавленного металла и его механические свойства (твердость и т.п.), в основном, влияет перемешивание основного металла с наплавляемым, вследствие чего, чем меньше доля основного металла в наплавляемом слое, тем ближе свойства наплавленного металла к требуемым.

В качестве направления по совершенствованию технологического процесса плазменной порошковой наплавки рабочих поверхностей запорной трубопроводной арматуры можно рекомендовать переход на однопроходную наплавку с использованием одновременного совместного действия основной сжатой и «пилотной» дуги, гарантирующий, с одной стороны, существенное уменьшение наплавляемого слоя, снижение перемешивания с основным металлом и практическое соответствие свойств используемого порошка с металлом наплавки (по химическому составу, твердости и т.п.) и, с другой стороны, исключение проведения термической обработки после наплавки.

Для выполнения плазменной порошковой наплавки на предприятии ОАО «Благовещенский завод» используется плазменная установка STARWELD PTA 350 CONTROL, которая предусматривает применение двух независимых дуг основной и «пилотной», каждая из которых питается от отдельного источника постоянного тока с крутопадающей характеристикой.

Для определения оптимальных режимов плазменной порошковой однопроходной наплавки с использованием двухдугового плазматрона использовали метод планирования «Полного факторного эксперимента» (ПФЭ) [9.15].

Для нахождения регрессионной модели полного факторного эксперимента в соответствие с [9,12] был проведен выбор основных факторов, а также интервалов их варьирования; составлен план эксперимента; проведена проверка опытных данных на воспроизводимость. После получения регрессионной модели проведена проверка коэффициентов регрессии на статистическую значимость и проверка регрессионной модели на адекватность.

Для исследования плазменной наплавки и проведения наплавки в один слой рабочей поверхности изделия из стали 09Г2С с применением порошка марки ЦН-12М были поставлены эксперименты по плану ПФЭ 2^3 , причем каждый эксперимент повторялся по три раза (таблицы 6 и 7). В качестве факторов, влияющих на качество наплавки и ее работоспособность (износостойкость), были выбраны следующие:

z_1 – сила тока, (А), $z_1^- = z_1^+$;

z_2 – скорость наплавки (см/мин), $z_2^- = z_2^+$;

z_3 – расход порошка, (г/мин), $z_3^- = z_3^+$.

Таблица 6. Исходные данные

Уровень фактора z_i	Z_1	Z_2	Z_3
Основной уровень, z_i^0	180	60	22
Интервал, a	10	5	2
Нижний уровень	170	55	20
Верхний уровень	190	65	24

Таблица 7. Исходная матрица планирования ПФЭ

№ эксперимента	Исследуемые факторы			Результаты опытов (Твердость)		
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃
1	+	+	+	37	39	39
2	-	+	+	40	38	40
3	+	-	+	42	41	41
4	-	-	+	37	38	37
5	+	+	-	38	38	37
6	-	+	-	39	38	38
7	+	-	-	37	36	37
8	-	-	-	37	38	39

Работа выполнялась в следующем порядке:

На первом этапе проводилась кодировка переменных $z_i \rightarrow x_i$. Далее производилась перестройка матрицы планирования в кодированных переменных с учетом парных взаимодействия и с дополнением столбцом средних значений отклика.

На втором этапе производилось вычисление коэффициентов уравнения регрессии; проверка вычисленных коэффициентов на значимость на основе данных по определению дисперсии воспроизводимости, и в заключении получение уравнения регрессии в кодированных переменных.

На третьем этапе проводилась проверка полученного уравнения на адекватность; интерпретация полученной модели и составление уравнения регрессии в натуральных переменных.

В результате было получено окончательное уравнение регрессионной модели в натуральных переменных [8]:

$$y = 510,25 - 24,75 z_1 - 9,12 z_2 + 37,85 z_3 + 0,16 z_1 z_2 + 0,22 z_1 z_3 + 0,1 z_2 z_3 - 0,047 z_1 z_2 z_3. \quad (1)$$

Исходя из анализа проделанного эксперимента были определены режимы наплавки (таблица 8), обеспечивающие наиболее высокую твердость наплавляемого слоя рабочих поверхностей трубопроводной арматуры из стали 09Г2С.

Таблица 8. Параметры режима плазменной наплавки в один слой

Параметр	Значение
Ток «дежурной» дуги, А	20
Ток «пилотной» дуги, А	5
Ток «основной» дуги, А	180
Расход порошка, г/мин	55
Скорость наплавки, мм/мин	24

ФИЗИКА

Для оценки технологии в один слой было проведено сравнение базовой технологии наплавки и наплавки в один слой (таблицы 9 и 10) по химическому составу наплавки и твердости.

Таблица 9. Химический состав наплавки по базовой и предлагаемой технологиям

Тип наплавляемого металла	Марка наплавляемого материала	Fe	Si	Cr	Ni	Mn	Mo	Nb	S	P
13X16H8M5M5Г4Б	ЦН-12М	Основа	3,8-5,2	17-18	9,5-6,5	3-5	3,5-7	0,5-1,2	0,025	0,03
Базовая технология		Основа	4,8	17,2	8,9	4,9	5,6	1,1	0,025	0,03
Предлагаемая технология		Основа	4,2	15,5	6,7	3,7	4,1	0,6	0,025	0,03

Таблица 10. Твердость рабочих поверхностей

Тип наплавляемого металла	Марка наплавочного материала	Твердость HRC
13X16H8M5M5Г4Б	ЦН-12М	38 -50
Базовая технология		46
Предлагаемая технология		41,5

Выводы. Как видно, переход на плазменную порошковую однопроходную наплавку с использованием одновременного совместного действия основной сжатой и «пилотной» дуги обеспечивает механические свойства и химический состав наплавляемого слоя рабочих поверхностей запорной трубопроводной арматуры на требуемом уровне и исключает процедуру предварительного и сопутствующего подогрева изделия и проведение термической обработки после наплавки.

Список литературы

1. Анализ отечественного и зарубежного опыта исследований в области безопасного проектирования и эксплуатации технологических объектов нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств / Н. Х. Абдрахманов, В. П. Матвеев, А. С. Ницета, В. В. Савицкий, О. А. Доржиева, Т. А. Хакимов // Сборник «Экспертиза промышленной безопасности и диагностика опасных производственных объектов». 2015. № 5. С.162-164.
2. Быховский Д.Г. Плазменная резка, сварка и наплавка – универсальные технологические процессы //Электрическая промышленность. Серия «Электросварка».- 1974. - № 5-6. С. 26-27.
3. Гладкий П.В. Плазменная наплавка заготовок металлорежущего инструмента /П.В. Гладкий, Е.Ф. Переплетчиков, А.В. Мельник, В.Б. Гольдштейн. // Наплавка при изготовлении деталей машин и оборудования. –ИЭС им. Е.О. Патона.- Киев. -1986.-С. 57-61.
4. Гладкий, П.В. Плазменная наплавка/П.В. Гладкий, Е.Ф. Переплетчиков, И.А. Рябцев.- Киев: Экотехнология, 2007. – 291с.

5. Коротков В.А. Восстановление и упрочнение деталей и инструмента плазменными технологиями /В.А. Коротков, А.А.Бердников, И.А. Толстов.- Челябинск: Металл,1993.- 144с.
 6. Обеспечение безопасности технологических трубопроводных систем на предприятиях нефтегазового комплекса/ Н.Х. Абдрахманов, А.А.Турдыматов, К.Н. Абдрахманова, В.В. Ворохобко // Нефтегазовое дело. 2015. Т. 13. № 4.С. 254-260.
 7. Повышение безопасности эксплуатации газопроводов/ Н.Х. Абдрахманов, В.М. Давлетов, К.Н. Абдрахманова, В.В. Ворохобко, Р.Н. Абдрахманов // Нефтегазовое Дело. Научно-Технический Журнал, Том. 14, №3, 2016.С 183-187.
 8. Попов, В.В. Плазменная наплавка в производстве трубопроводной арматуры /В.В. Попов // Тезисы докладов X Научно-практическая конференции молодых специалистов ОМК им. С.З. Афолина. – 2017. – С.91.
 9. Соколовская, И.Ю. Полный факторный эксперимент /И.Ю. Соколовская // Методические указания для самостоятельной работы студентов. – Новосибирск: НГАВТ, 2010. – 36 с.
 10. Соснин Н.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров /Н.А. Соснин, С.А. Ермаков, П.А. Тополянский.- Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013.- 406с.
 11. Толстов И.А. Справочник по наплавке /И.А. Толстов, В.А. Коротков.-Челябинск: Металлургия, 1990.- 384с.
 12. A NEW APPROACH FOR A SPECIAL ASSESSMENT OF THE WORKING CONDITIONS AT THE PRODUCTION FACTORS' IMPACT THROUGH FORECASTING THE OCCUPATIONAL RISKS. Abdrakhmanov N. Kh., Vadulina N.V., Fedosov A.V., Ryamova S.M., Gaisin E. Sh.Man in India. 2017. Т. 97. № 20. С. 495-511.
 13. DELIBERATE REORGANIZATION OF THE SYSTEM OF SOCIAL RELATIONS IN OIL AND GAS COMPANIES IN THE PERIOD OF CHANGES IN ECONOMICS. Gaisina L.M., Maier V.V., Abdrakhmanov N.K., Sultanova E.A., Belonozhko M.L. Espacios. 2017. Т. 38. № 48. С. 12
 14. Hung N. C., Chandler P. E., Quigley M. B. and Smith B.L. The development of a hybrid plasma spraying process //ADV THERM. SPRAY ITSC 86 PROC, 11TH INT. NURM/ SPREY. CONF.
 15. IMPROVING THE QUALITY OF COMPETENCE-ORIENTED TRAINING OF PERSONNEL AT INDUSTRIAL ENTERPRISES Sekerin V.D., Gaisina L.M., Shutov N.V., AbdrakhmanovN.Kh., Valitova N.E. Quality - AccesstoSuccess. 2018. Т. 19. № 165. С. 68-73.
-