

УДК 621.793

**ОЦЕНКА РАБОЧЕГО РЕСУРСА ДВУХДУГОВОГО ПЛАЗМАТРОНА  
ПРИ ПЛАЗМЕННОЙ ОДНОПРОХОДНОЙ ПОРОШКОВОЙ НАПЛАВКЕ**

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

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

Одним из основных методов повышения надежности и ресурса запорной арматуры является плазменная наплавка. Использование метода плазменно-порошковой наплавки позволяет существенно повысить качество наплавляемых деталей, увеличить производительность и придать особые свойства наплавляемой поверхности.

Установки плазменной наплавки предназначены для наплавки деталей от колец и клапанов до чистовых стекольных форм и деталей запорной арматуры.

В статье рассмотрены результаты исследований по совершенствованию технологического процесса плазменной порошковой наплавки рабочих поверхностей запорной трубопроводной арматуры путем перехода на однопроходную наплавку с использованием одновременного совместного действия «основной» сжатой и «пилотной» дуги. При этом наблюдается существенное уменьшение наплавляемого слоя, снижение перемешивания с основным металлом и практическое соответствие свойств используемого порошка с металлом наплавки.

**Ключевые слова:** трубопроводная запорная арматура, плазменная порошковая наплавка, плазматрон, гранулированные порошки, электроды, рабочий ресурс.

**ASSESSMENT OF THE WORKING RESOURCE OF THE TWO-ARC PLASMATRON  
AT PLASMA SINGLE-PASS POWDER BUILDING UP**

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

One of the main methods of increase in reliability and resource of shutoff valves is plasma building up. Use of a method of plasma and powder building up allows to increase significantly quality of the built-up details, to increase productivity and to give special characteristics of the built-up surface.

Installations of plasma building up are intended for building up of details from rings and valves to fair glass forms and details of shutoff valves.

In article results of researches on improvement of technological process of plasma powder building up of working surfaces of shutoff pipeline valves by transition to single-pass building up with

---

use of simultaneous joint action of the "main" compressed and "pilot" arch are considered. At the same time such reduction of the built-up layer, decrease in hashing with base metal and practical compliance of properties of the used powder with building up metal is observed.

**Keywords:** pipeline shutoff valves, plasma powder building up, the plasmatron, the granulated powders, electrodes, working resource.

**Введение.** Ряд узлов и механизмов разнообразных аппаратов и машин в наши дни функционируют в сложных условиях, требующих от изделий отвечать сразу нескольким требованиям. Зачастую они обязаны выдерживать влияние агрессивных химических сред и повышенных температур, и при этом сохранять свои высокие прочностные характеристики.

Изготовить подобные узлы из какого-либо одного металла или иного материала практически нереально. Да и с финансовой точки зрения столь сложный производственный процесс реализовывать нецелесообразно.

Намного разумнее и выгоднее выпускать такие изделия из одного, максимально прочного, материала, а затем наносить на них те или иные защитные покрытия – износостойкие, жаростойкие, кислотоупорные и так далее.

В качестве такой "защиты" можно использовать неметаллические и металлические покрытия, которые по своему составу отличаются друг от друга. Подобное напыление позволяет придавать изделиям необходимые им диэлектрические, тепловые, физические и иные характеристики. Одним из самых эффективных и при этом универсальных современных способов покрытия материалов защитным слоем признается напыление и наплавка плазменной дугой [1,5,6].

Суть применения плазмы достаточно проста. Для покрытия используется материал в виде проволоки либо гранулированного мелкого порошка, который подается в струю плазмы, где он сначала нагревается, а затем расплавляется. Именно в расплавленном состоянии защитный материал и попадает на деталь, подвергаемую наплавке. В то же самое время происходит и ее непрерывный нагрев.

Как было показано в работе [1,10] в качестве одного из направлений по совершенствованию технологического процесса плазменной порошковой наплавки рабочих поверхностей запорной трубопроводной арматуры является переход на однопроходную наплавку с использованием одновременного совместного действия «основной» сжатой и «пилотной» дуги, гарантирующий 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.). Это позволяет, с другой стороны, избежать проведения термической обработки после наплавки.

Данная модернизация технологического процесса плазменной порошковой наплавки (ПНП) была проведена на ОАО «Благовещенский арматурный завод» на основе использования плазменной установки STARWELD PTA 350 CONTROL, плазматрон которой предусматривает применение двух независимых дуг «основной» и «пилотной», каждая из которых питается от отдельного источника постоянного тока с крутопадающей характеристикой.

Предложенная модернизация технологического процесса плазменной наплавки рабочих поверхностей запорной трубопроводной арматуры [2,13] была разработана в соответствие с требованиями нормативного документа СТ ЦКБА 053 -2008. (Арматура трубопроводная. Наплавка и контроль качества наплавляемых поверхностей). В частности, наплавка осуществлялась 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 использовался аргон (Ar), обеспечивающий наиболее высокую температуру плазмы при наименьшем напряжении дуги и коэффициенте использования энергии на нагрев газов.

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

К особенностям предлагаемой технологии плазменной порошковой наплавки относится использование «дежурной» дуги которая включалась, как правило, в момент запуска «основной» сжатой дуги и после ее зажигания не отключалась, а переводилась в режим «пилотной» дуги (ток «дежурной» дуги, равный  $I_d = 20\text{A}$  переключался на ток «пилотной» дуги в диапазоне  $I_p [ 5\text{A}; 30\text{A}]$ .

Как отмечалось в работах [2,7] «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» струю обеспечивает дополнительный разогрев частиц порошка, способствует его лучшему растеканию на основном металле изделия, снижению разогрева изделия и уменьшению глубины проплавления [11,12,14].

Однако, как показали результаты экспериментальных исследований по порошковой плазменной наплавке изделий с использованием двухдугового плазматрона, обеспечивающего одновременное горение «основной» сжатой дуги и «пилотной» дуги, существует проблема налипания порошка на внутреннюю полость плазматрона (рисунок 1), при этом степень налипания порошка на плазматрон зависит от величины тока «пилотной» дуги [3,4].

---

При работе плазматрона на токе «пилотной» дуги  $I_n = 30\text{A}$  порошок активно налипал на стенки сопла и после двух часов эксплуатации сопло полностью забилося и теряло свою работоспособность. На токе 5А налипание порошка также наблюдалось, но не так активно, как на токе 30А и безаварийная эксплуатация плазматрона наблюдалась в течение всего времени его работы.

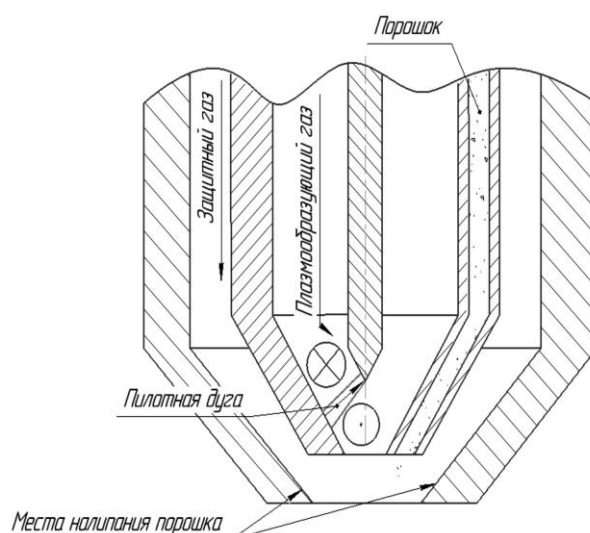


Рисунок 1. – Схема плазматрона при работе в «пилотном» режиме

В качестве подтверждения данных наблюдений были произведены контрольные взвешивания двухдугового плазматрона до наплавки и после на токах  $I_{n1} = 30\text{A}$  и  $I_{n2} = 5\text{A}$ . Результаты данных замеров представлены в таблице 1

Таблица 1. Результаты контрольных взвешиваний

Ток Ток «пилотной» дуги Дуг $I_n$ , А	Мас Масса плазматрона $M_0$ М до наплавки, г	Масса плазматрона $m_i$ после наплавки, г		
		По После 1 часа наплавки	Пос После 2 часов наплавки	Пос После 4 часов наплавки
30	46,5	52,68	68,83	-
5		47,1	47,82	49,5
Ток Ток «пилотной» дуги Дуг $I_n$ , А	Мас Масса налипаемого порошка $G_0$ до наплавки, г	м Масса налипаемого порошка $G_{ni}$ после наплавки, г		
		П После 1 часа наплавки	Пос После 2 часов наплавки	Пос После 4 часов наплавки
30		6,18	22,33	-
5		0,6	1,32	3,0

На рисунке 2 а,б представлена зависимость массы налипаемого порошка  $G_{ni}$  в двухдуговом плазматроне от времени его работы  $t$  при значениях тока пилотной дуги  $I_n = 30\text{A}$  и  $5\text{A}$ ..

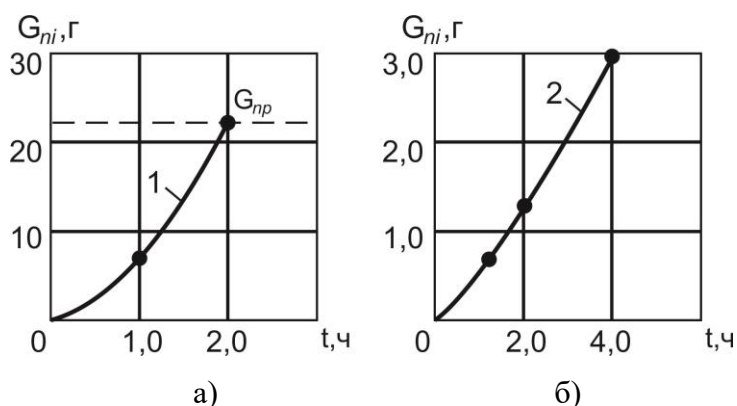


Рисунок 2. – Зависимость массы налипаемого порошка на сопло двухдугового плазматрона  $G_{ni}$  от величины тока «пилотной» дуги  $I_{ni}$  (1 – при  $I_n=30A$ ; 2 – при  $I_n=5A$ )

На основе обработки экспериментальных данных (см. рисунок 2) получены следующие аппроксимированные зависимости, характеризующие процесс налипания порошка на сопло плазматрона от величины тока «пилотной дуги»  $I_n$ .

$$I_n=30A, G_{ni} = 6,18 t^{1,85}; \quad (1)$$

$$I_n=5A, G_{ni} = 0,6 t^{1,14}.$$

Для двухдугового плазматрона, используемого в установке STARWELD PTA 350 CONTROL для плазменной порошковой наплавки на предприятии ОАО «Благовещенский арматурный завод», предельная масса порошка, при которой обеспечивается полное залипание внутренней полости плазматрона, составляет  $G_{np} = 22,33g$ . При работе на «пилотном» токе  $I_n=5A$  полное залипание внутренней полости сопла в соответствие со вторым из соотношений (1) предположительно произойдет через  $t_p = 23,8$  часа [8,9,15].

Интересным представляется вопрос оценки рабочего ресурса двухдугового плазматрона  $t_p$  в зависимости от выбора тока «пилотной» дуги  $I_n$ . Решение поставленной задачи позволит установить удобный рабочий режим плазматрона, гарантирующий отсутствие эффекта залипания плазматрона в процессе его эксплуатации в интервале значений  $[0; t_p]$ .

Используя принцип нелинейной интерполяции функции  $G_{ni} = f(I_n, t)$ , представленной на границе диапазона значений тока пилотной дуги  $I_n$  [5A;30A] соотношениями (1), было получено следующее выражение

$$G_{ni} = 0,223 I_n \times t^{(1+0,0283 I_n)}, \quad (2)$$

Из условия залипания  $G_{np} = 22,33g = f(I_n, t_p)$  было получено выражение (3) для оценки работоспособности плазматрона при заданном токе «пилотной» дуги, позволяющее определить время полного залипания внутренней полости двухдугового плазматрона

$$\ln(t_p) = \ln(100/ I_n) / (1 + 0,028 I_n) \quad (3)$$

На рисунке 3 приведен график зависимости  $t_p = f(I_n)$ , представленный соотношением (3).

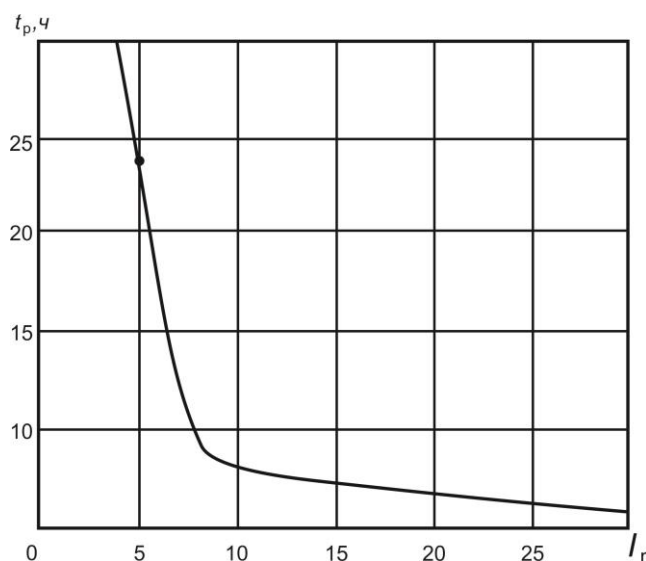


Рисунок 3. - Зависимость времени залипания плазматрона  $t_p$  от величины тока пилотной дуги  $I_n$

Вывод. Исходя из приведенного графика  $t_p = f(I_n)$ , можно сделать вывод, что период работоспособности двухдугового плазматрона должен составлять не менее одной рабочей смены (7 часов), с учетом показателя включения  $k = 0,8$  - порядка 6 часов. Этому периоду работы плазматрона до полного залипания внутренней полости сопла будет соответствовать величина тока «пилотной» дуги порядка  $I_n = 10\text{А}$ .

### 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. Ерофеев В.В. Совершенствование технологии плазменной порошковой наплавки рабочих поверхностей запорной трубопроводной арматуры /В.В. Ерофеев, Р.Г. Шарафиев, С.В. Ерофеев и др.// Материалы XXIII Междун. научно-техн. конф.: Проблемы строительного комплекса России». - Уфа, УГНТУ, 2019. –С. 366-371
3. 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.
4. Оценка и обеспечение безопасности эксплуатации нефтегазопроводов в условиях нестационарности технологических параметров / З.Х. Павлова, Х.А. Азметов, Н.Х. Абдрахманов,

А.Д. Павлова / Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т.329. №1. С.132-137.

5. 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.

6. Современные технологии для проведения производственного контроля, повышающие уровень промышленной безопасности на объектах нефтегазовой отрасли / Р.А. Кускильдин, Н.Х. Абдрахманов, З.А. Закирова, Э.Ф. Ялалова, К.Н. Абдрахманова, В.В. Ворохобко // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. –2017.–№2(108). – с. 111-120.

7. Соснин Н.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров /Н.А. Соснин, С.А. Ермаков, П.А. Тополянский.- Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2013.- 406с.

8. 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.

9. 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

10. DEVELOPMENT OF IMPLEMENTATION CHART FOR NON-STATIONARY RISKS MINIMIZATION MANAGEMENT TECHNOLOGY BASED ON INFORMATION-MANAGEMENT SAFETY SYSTEM Abdrakhmanov N., Abdrakhmanova K., Vorohobko V. , Abdrakhmanova L., Basyirova A.. / Journal of engineering and Applied Sciences, 2017, №12: С. 7880-7888.

11. HEAT ABSORPTION BY HEAT-TRANSFER AGENT IN A FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR Kunelbayev M.M., Gaisin E.Sh., Repin V.V., Galiullin M.M., Abdrakhmanova K.N. International Journal of Pure and Applied Mathematics. 2017. Т. 115. № 3. С. 561-575.

12. 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.

13. IMPROVING THE QUALITY OF COMPETENCE-ORIENTED TRAINING OF PERSONNEL AT INDUSTRIAL ENTERPRISES

Sekerin V.D., Gaisina L.M., Shutov N.V., Abdrakhmanov N.Kh., Valitova N.E.

Quality - Access to Success. 2018. Т. 19. № 165. С. 68-73.

---

14. Inner Werher Energieverhältnisse des Plasmaauftragschweißprozess. (Энергетические соотношения процесса плазменной наплавки). «Schweisstechnik», 1972, 22, №4 С. 164-167 (нем.).

15. THE USE OF MATHEMATICAL MODELS IN THE ASSESSMENT OF THE MEASUREMENTS' UNCERTAINTY FOR THE PURPOSE OF THE INDUSTRIAL SAFETY CONDITION ANALYSIS OF THE DANGEROUS PRODUCTION OBJECTS. Fedosov A.V., Abdrakhmanov N.Kh., Gaysin E.Sh., Sharafutdinova G.M., Abdrakhmanova K.N., Shammatova A.A. // International Journal of Pure and Applied Mathematics, 119 (10 Special Issue C). pp. 433-437.

---