

ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВАЯ НАПЛАВКА ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

М.В. Радченко, Ю.О. Шевцов, Т.Б. Радченко

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

В работе представлен анализ основных способов создания защитных покрытий на изнашиваемых поверхностях запорной арматуры, обосновано использование электроннолучевой наплавки в вакууме, предложены технологические рекомендации.

Ключевые слова: запорная арматура, защитные покрытия, электроннолучевая наплавка, технологические рекомендации.

ELECTRON BEAM POWDER CLADDING IN VACUUM OF WEAR RESISTANT COATINGS FOR THE VALVE'S SURFACES

M.V. Radchenko, Yu.O. Shevtsov, T.B. Radchenko

The Altai state technical university of I.I. Polzunov, Barnaul

The analysis of the main ways to create a protective coating for the wear surfaces of valves is presented in the paper. The preferential using of electron beam powder cladding in a vacuum is justified and technological advices are offered.

Keywords: valves, protective coating, electron beam powder cladding, technological advices

Практика эксплуатации трубопроводной и паровой котельной арматуры показывает, что ее ресурс во многом зависит от качества уплотнительных поверхностей, которые работают в сложных эксплуатационных условиях, а в настоящее время он меньше ресурса других основных элементов трубопроводов и энергетических установок. Арматура предназначена для управления движением, распределением и регулированием расхода потоков жидкостей, газов (паров) путем непосредственного на них воздействия.

По назначению арматуру можно разделить на следующие основные группы [1]: запорная, регулирующая, предохранительная, защитная, фазоразделительная.

В силу наиболее сложных эксплуатационных условий в работе рассматривалась первая группа, в частности вентили с условным диаметром прохода (номинальным диаметром отверстия в арматуре, служащий для прохода среды $D_y = 100$ мм).

Для изготовления паровой котельной и трубопроводной арматуры в зависимости от ее назначения и условий работы используются конструкционные и легированные стали – сталь 20, 20ХМЛ, 15Х1М1ФЛ, 20Х1М11Ф11Р, 08Х18Н10Т, 20Х13 и многие другие.

Вентили арматуры выполняются с плоскими, конусными и сферическими уплотнительными поверхностями. Плоские уплотнения используются, в основном, в арматуре с D_y более 40 мм, предназначенной для пара и жидкостей средних и высоких давлений и температур. Конусные и шаровые (сферические) уплотнения работают в арматуре с D_y менее 40 мм, для пара и жидкостей высоких давлений и температуры.

Шаровая запорная арматура (со сферическими уплотнительными поверхностями) имеет следующие преимущества в сравнении с традиционными вентилями, задвижками, поворотными заслонками:

1. Низкое гидравлическое сопротивление (в 3...4 раза меньше).
2. Высокий уровень регулировки расхода, давления.
3. Быстрое время срабатывания.
4. Экономный расход жидкости или пара.

Запорную арматуру с такими поверхностями выгодно применять в пульпированных трубопроводах, где взвешенные частицы быстро засоряют обычные задвижки и вентили.

В настоящее время для увеличения срока службы арматуры защитные покрытия

на рабочие поверхности наносят, в основном, методом наплавки. Для создания герметичного соединения поверхности притираются до шероховатости $R_a 0,025$ и плотно сжимают нормальным усилием, что исключает наличие протечек рабочей жидкости или газа [11-14, 24-27].

Уплотнительные поверхности работают в сложных условиях. В процессе работы они находятся в среде водяного пара или жидкости, рабочего давления и температуры. Запирание и отпирание запорных органов происходит многократно в условиях почти сухого трения при высоких контактных давлениях. При неработающем котле (парогенераторе) или трубопроводе уплотнительные поверхности подвергаются коррозионному воздействию конденсата или рабочего тела. Вышеперечисленные условия работы предъявляют определенные требования к уплотнительным поверхностям паровой котельной и трубопроводной арматуры, и материалам, применяемым для их изготовления. Наплавленный металл уплотнительных поверхностей должен отвечать следующим требованиям [2]:

1. Иметь стабильную структуру и твердость в процессе длительной эксплуатации при рабочих температурах.
2. Быть плотным, не иметь трещин, пор, раковин, сколов и обеспечивать герметичность при эксплуатации.
3. Обладать стабильностью химических и физических свойств в течение установленного срока службы.
4. Обладать достаточным сопротивлением термической и малоцикловой усталости.
5. Обладать стойкостью против образования горячих и холодных трещин при наплавке и иметь твердость больше 45 HRC.
6. Обеспечивать стойкость против задиоров при удельных давлениях 1200...1500 кгс/см².
7. Обладать коррозионной и эрозионной стойкостью в рабочих средах (перегретый пар до температуры $T = 515^\circ\text{C}$, до давления $P = 80$ кгс/см², насыщенный пар до $T = 300^\circ\text{C}$, до $P = 93$ кгс/см, агрессивные жидкости).

Для удовлетворения жестких требований в отношении сопротивления изнашиванию, задирам, циклическим нагревам, ударным нагрузкам, коррозии, эрозии уплотнительные поверхности запорной арматуры упрочняются путем электродуговой наплавки под слоем флюса и в среде инертных газов, плазменной наплавки [3]. Наряду с этими традиционными методами все чаще применяют плазменную

наплавку с подачей двух токоведущих присадочных проволок [4], импульснодуговую наплавку плавящейся электродной проволокой в среде аргона, а также лазерную наплавку [5]. В качестве наплавочных материалов в арматуростроении применяют следующие материалы:

1. Хромистые стали 48Ж-1 мартенситного класса.
2. Хромоникелевые стали – наплавка электродами ЦН-6Л, ЦН-6М.
3. Сплавы системы Fe-Cr-Ni-Si (Mo, V, Mn) – наплавка электродами ЦН-12Л, ЦН-12М, порошками ПН-АН 34.
4. Сплавы на основе Ni (колмонои).
5. Сплавы на основе Co (стеллиты).

Хромистые стали, широко применяемые для наплавки уплотнительных поверхностей арматуры, обладают удовлетворительными коррозионными и эрозионными свойствами и имеют твердость наплавленного слоя менее 48 HRC. Но они используются только для наплавки поверхностей, работающих в паровой среде до 400°C , т.к. при более высоких температурах значительно снижаются их служебные свойства.

Более высокими коррозионными свойствами по сравнению с хромистыми сталями обладают хромоникелевые нержавеющие сплавы ЦН-6М, ЦН-6Л, но из-за низкой твердости наплавки (28...37 HRC) они также имеют ограниченное применение. Сплавы ЦН-12Л и ЦН-12М из-за неудовлетворительных технологических свойств и недостаточного сопротивления термоусталости не применяются для паровой котельной арматуры, подверженной частым переменным тепловым воздействиям.

Наиболее высокими служебными характеристиками обладают сплавы на основе кобальта – стеллиты (от названия фирмы Dellore Stellite Limited (Англия)). Их применяют для наплавки уплотнительных поверхностей арматуры фирмы Alfa-Laval (Франция), Siemens (Германия), Johnstone (США), Yamatake-Honeywell (Япония). Но они дороги и с трудом поддаются последующей механической обработке.

В настоящее время среди способов поверхностного упрочнения и создания защитных покрытий заметное место занимают такие, как химико-термическая обработка в солях, газовая нитроцементация, закалка в нейтральном газе повышенного давления, газовое борирование в смесях азота или водорода, плазменное нанесение защитных покрытий. Расширяется использование методов

ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВАЯ НАПЛАВКА ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

упрочняющей обработки с помощью лазерного и электронного пучков [11-13, 28], сверхзвуковой газопорошковой наплавки [14,18-23, 29].

Плазменные покрытия, обладающие значительной пористостью (порядка 15%) и неоднородностью внутреннего строения, а, следовательно, и свойств покрытия, не могут служить надежной защитой в условиях длительного высокотемпературного окисления. Кроме того, с учетом неодинакового коэффициента теплового расширения пористого защитного покрытия и основного металла в процессе эксплуатации, решающим фактором длительности работы конструкции является прочность его сцепления с защищаемой поверхностью.

Поэтому логичным продолжением поиска путей решения проблемы послужила разработка комбинированных способов создания защитных покрытий [13, 16, 17] – напыление порошковых материалов с последующим оплавлением концентрированными потоками энергии: плазменной струей, лазерным и электронным пучками. Комбинированная обработка позволяет достичь расплавления порошка и подплавления поверхностного слоя подложки. Это приводит к значительному уменьшению пористости, увеличению однородности структуры, диспергированию упрочняющих фаз, увеличению адгезионной прочности покрытий, созданию на поверхности термостойких оксидных пленок, значительно тормозящих разрушение основы. Лазерное оплавление покрытий позволяет уменьшить энергетические затраты в 1,6 раза по сравнению с науглероживанием и азотированием и дополнительно экономить материалы на 8 и 22% в сравнении с азотированием и борированием соответственно. В то же время наибольшее количество энергии расходуется при поверхностном термоупрочнении в соляной ванне, средний расход – в газовой атмосфере и наименьший – при обработке электронным пучком в вакууме. Лазерная и электроннолучевая обработка в вакууме позволяет осуществить очень тонкую дозировку вложенной в покрытие энергии, что позволяет получить плотную безпористую структуру. При обработке материалов лазерным и электронным лучом в вакууме происходит вакуумное рафинирование и дегазация оплавленного материала, что позволяет создавать структуру без внутреннего окисления и образования сульфидов и фторидов, снижающих физико-механические свойства покрытий.

Электроннолучевая обработка обладает по сравнению с лазерной существенными преимуществами, к которым относятся [6-13]:

- более низкая (в 2-3 раза при одинаковой мощности) стоимость оборудования;
- высокий (75%) по сравнению с лазерным (15%) к.п.д. нагрева;
- стабильность параметров излучения и простота контроля режима работы оборудования;
- возможность сканирования луча с высокой частотой и большой амплитудой (более 50 мм);
- высокая надежность электромагнитной системы сканирования (по сравнению с механической) системой развертки лазерного луча.

Существуют варианты производительной технологии электроннолучевого оплавления порошков электронным пучком большой энергии (до 1 МэВ), формирующимся в промышленных ускорителях (производительность – до 6 м²/ч). Существенными недостатком этого технологического варианта являются чрезвычайно высокая стоимость оборудования, жесткие требования к рентгеновской безопасности для персонала, что решается помещением оборудования в подземные клинkers, и высокие требуемые мощности электронного пучка (до 40 кВт), что в 10 и более раз превышает достаточные мощности пучка электронов при обработке в вакууме.

Для создания защитных покрытий на уплотнительных поверхностях запорной паровой котельной и трубопроводной арматуры – седел, тарелок и сфер – была предложена технология прямой порошковой электроннолучевой наплавки в вакууме (ЭЛН). Учитывая условия работы пары трения и необходимость обеспечения возможности последующей обработки, материалами для наплавки были выбраны хромоникелевый порошковый сплав ПГ-10Н-01 на тарелки и шаровые поверхности и бронзовый сплав ПГ-19М-01 на седла. Химический состав порошков показан в таблице 1.

Наплавка осуществлялась на электроннолучевой аппаратуре У-250А с использованием термонакальной пушки У-530М. Благодаря специально сконструированному манипулятору изделия со сферическими рабочими поверхностями с радиусом R = 45 мм в процессе наплавки вращались вокруг двух взаимноперпендикулярных осей относительно неподвижного луча и желоба питателя, что обеспечивало непрерывную наплавку валиков по винтовой линии с коэффициентом перекрытия валиков K_п = 30...40 %.

Таблица 1 - Химический состав наплавленных порошков

Марка	C	Cr	Ni	Si	Fe	B	Al	Cu
ПГ-10Н-01	0,6-1	14-20	ост	4-4,5	3-7	2,8-4,2	-	-
ПГ-19М-01	-	-	-	-	до 5	-	8,5-10	ост.

Исходя из условий обеспечения прочного соединения наплавленного металла с основой и исключения их значительного перемещения, в результате экспериментальных исследований были установлены следующие режимы ЭЛН:

- ускоряющее напряжение $U_a = 22$ кВ;
- ток луча I_n - до 100 мА (удельная мощность в пятне нагрева q – до 2,7 Вт/см²) для

тарелок и сфер и I_n до 120 мА (q – до 3,4 Вт/см²) для седел;

- окружная скорость вращения изделий до 3 мм/с;
- массовый расход порошка G_n – до 1 кг/ч;
- развертка луча в две линии с амплитудой $A = 5$ мм, частотой $f = 25$ Гц и ускорением на концах отрезков.



Рисунок 1 - Запорная арматура с уплотнительными поверхностями, упрочненными методом ЭЛН в вакууме

Нанесение покрытий без предварительного подогрева изделий привело к появлению в наплавленном слое на сферических поверхностях сетки трещин из-за разности коэффициентов термического расширения наплавленного материала и материала подложки (сталь 20). Поэтому, чтобы исключить эти дефекты, заготовки перед направкой подогревали до температуры 450...550 °С.

Поддержание в процессе наплавки установленного рационального соотношения основных технологических режимов позволило обеспечить толщину наплавленного слоя 1...2 мм, минимальное проплавление подложки и незначительное разбавление наплавленного металла железом (доля материала подложки в наплавленном слое до 5 %).

Сочетание оптимальных режимов и процессов рафинирования и дегазации расплава, проходящих во время наплавки в вакууме,

ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВАЯ НАПЛАВКА
ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ
НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

обеспечило, как показывают результаты металлографического и рентгеноструктурного анализа, получение плотной мелкозернистой структуры защитного покрытия (без пор, раковин, неметаллических и газовых включений) с требуемым уровнем функциональных свойств.

В результате экспериментальных исследований установлено, что наплавленный порошком ПГ-10Н-01 слой металла по технологичности, по стойкости против задиrow при сухом абразивном трении и против образования трещин при резких сменах температуры превосходит сплавы на основе кобальта и железа, а использование для наплавки седел бронзового порошка ПГ-19М-01 позволило снизить коэффициент трения в паре седло-палец и седло-сфера до 0,15.

Твердость наплавленных материалов составила 25...30 HRC на седлах и 45...50 HRC на шарах и пальцах, что позволило обрабатывать покрытия на токарных станках с ЧПУ с последующей финишной операцией магнитно-абразивным способом.

На рис.1 показана плоская конусная (а) и шаровая (б) запорная арматура с рабочими поверхностями, наплавленными электронным лучом в вакууме.

Длительные производственные испытания на АО "ЭТЭМ" на базе Центрального котлотурбинного института им. И.И. Ползунова показали повышение стойкости пары трения палец – седло в 2,5 раза по сравнению с выполненными из стали 08Х18Н10Т.

Расчетный годовой экономический эффект от использования созданной технологии упрочнения уплотнительных поверхностей деталей котельной и трубопроводной запорной арматуры на АО "ЭТЭМ" составляет 850 тысяч рублей.

Применение в арматуростроении ресурсосберегающей экологически чистой технологии прямой порошковой электроннолучевой наплавки в вакууме позволяет повысить качество защитных слоев металла, достичь высокой надежности и долговечности защищенных узлов, уменьшить расход присадочных материалов, повысить производительность и улучшить условия труда за счет автоматизации процесса.

Список литературы

1. Гуревич Д.Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры.- М.: Машиностроение, 1981.- С. 5-11.
2. Андреев В.В. Общая технология судостроения.- Л.: Судостроение, 1984.- С. 10.

3. Фрумин И.И., Гладкий П.В., Переплетчиков Е.Ф. Опыт применения плазменной наплавки стеллита для ремонта крупных задвижек // Автоматическая сварка.- 1981.- N1.- С. 67-68.
4. Быховский Р.Г. Плазменная обработка металлов на ленинградских предприятиях // Сварочное производство.- 1983.- N 10.- С. 36.
5. Разработка лазерной технологии по наплавке уплотнительных поверхностей паровой котельной арматуры порошковыми материалами типа ПН-АН34 и ПН-68Х21С5Р: Отчет о НИР (предварит.) / ЛКИ; Руководитель Манько П.А.; Г.р. N 01860006879.- 1986.- 91 с.
6. Радченко М.В., Радченко В.Г., Кириенко А.М., Шевцов Ю.О. Оценка твердости и пластичности слоев, созданных электронно-лучевым наплавлением в вакууме // Металлург.- 1997.- № 8. – С. 33-35.
7. Радченко М.В., Шевцов Ю.О., Радченко В.Г. Комплексный анализ износостойких защитных покрытий, наплавленных электронными пучками в вакууме. Ползуновский вестник, 2005.- №2 (ч.2).- Барнаул: Изд-во АлтГТУ.- С. 67-71.
8. Радченко М.В., Уварова С.Г., Шевцов Ю.О., Радченко В.Г., Марков В.А. Практика использования концентрированных потоков энергии для сварки и создания защитных покрытий // Ползуновский вестник, 2012.- № 1/1.- С. 248-254.
9. Радченко М.В., Чепрасов Д.П., Шевцов Ю.О., Иванайский А.А., Борисов А.П., Сейдуров М.Н., Черемисин П.С. Исследование процессов сварки и наплавки с использованием современной методики сбора и обработки экспериментальных данных// Обработка металлов, 2008.- №1(38).- С. 7-10.
10. Радченко М.В., Радченко В.Г., Шевцов Ю.О., Кровяков К.С. Практика использования электронно-лучевых технологий сварки, упрочнения и наплавки в дизелестроении/ Сварочное производство, 2007.- №5.- С. 27-30.
11. Шевцов Ю.О. Разработка технологических основ износостойкой электронно-лучевой наплавки в вакууме самофлюсующихся порошковых материалов.-Автореф. дисс. ... к.т.н. 05.03.06.- Барнаул, 1994.- 23 с.
12. Радченко М.В. Комплексные исследования процесса формирования упрочняющих и защитных покрытий.- Автореф. дисс. ... д.т.н. 05.03.01, 05.03.06.- Новосибирск, 1993.- 35 с.

13. Радченко Т.Б. Комбинированные электро-технологии нанесения защитных покрытий и разработка систем управления их качеством. - Автореф. дисс. ... д.т.н. 05.09.10.- Новосибирск, 2000.- 37 с.
14. Киселёв В.С. Повышение износостойкости наплавленных покрытий путём выбора рациональных технологических параметров на основе диагностики сверхзвуковых газопорошковых струй.- Автореф. дисс. ...к.т.н. 05.03.06.- Барнаул, 2010.- 21 с.
15. Тимошенко В.П. Разработка технологии индукционной наплавки с регулируемым тепловложением. - Автореф. дисс. ... к.т.н. 05.03.06.- Барнаул, 1989.- 26 с.
16. Радченко М.В., Анализ основных технологических параметров комбинированных способов создания защитных покрытий на деталях сельхозмашин/ М.В. Радченко, Т.Б. Радченко, Ю.О. Шевцов, В.Г. Радченко, О.И. Хомутов, С.Г. Уварова, В.С. Киселёв // Ползуновский вестник, 2011.- № 2/2.- С. 244-250.
17. Радченко М.В., Чередниченко В.С., Радченко Т.Б. Оценка глубины вакуума как критерия управления качеством защитных покрытий //Доклады СО АН Высшей Школы.- Новосибирск: Новосибирское отделение АН ВШ, №2, 2000.- С.61-66.
18. Радченко М.В., Разработка и изготовление устройства для сверхзвуковой газопорошковой наплавки и анализ его технологических характеристик / М.В. Радченко, Д.А. Нагорный, Ю.О. Шевцов, Т.Б. Радченко //Ползуновский вестник. - 2013. - № 4-2. - С. 55-59.
19. Радченко М.В., Технологические аспекты управления процессом сверхзвуковой газопорошковой наплавки/ М.В. Радченко, В.С. Киселев, Н.Н. Палаткин, Т.Б. Радченко //Ползуновский вестник. - 2013. - № 4-2. - С. 60-65.
20. Радченко М.В., Методика прогнозирования качества защитных износостойких покрытий, выполненных способом сверхзвуковой газопорошковой наплавки на объектах Ростехнадзора/ М.В. Радченко, В.С. Киселев, Ю.О. Шевцов, Т.Б. Радченко, В.Г. Радченко, С.Г. Уварова //Сварка и диагностика, 2014. - № 4. - С. 14-18.
21. Радченко М.В., Киселев В.С., Радченко Т.Б. Прогнозирование процесса плазменно-порошковой наплавки порошка с помощью наноструктурированных сплавов// XVII Конгресс 21-25 мая 2012 года Санкт-Петербург- Электротехнологии . - С.341-344.
22. Киселев В.С., Технологические аспекты управления процессом сверхзвуковой газопорошковой наплавки/М.В. Радченко, Н.Н. Палаткин, Т.Б. Радченко // Вестник Алтайской науки, 2013. - № 2-2/2013.-С. 227-230.
23. Радченко М.В., Комплексная диагностика сверхзвуковых газовых струй в процессе газопорошковой наплавки износостойких покрытий/ М.В. Радченко, В.С. Киселев, Ю.О. Шевцов, С.Г. Уварова, Т.Б. Радченко, В.Г. Радченко // Сварка и диагностика, 2011. - №1. - С. 54-58.
24. Радченко М.В., Наплавка защитных покрытий на элементы котлов с «кипящим слоем» как решения энергетической проблемы в сельском хозяйстве/ М.В. Радченко, Т.Б. Радченко, В.С. Киселёв, О.И. Хомутов, Ю.О. Шевцов, //Ползуновский вестник, 2011.- № 2/2.- С. 236-243.
25. Патент на полезную модель № 60410 Россия, МПК В22В 19/06. Устройство для сверхзвуковой газопорошковой наплавки /Радченко М.В., Шевцов Ю.О., Радченко Т.Б., Нагорный Д.А., Маньковский С.А.; заявл. 4.07.2006; опубл. 27.01.2007 в Б.И. № 3.
26. Патент № 2346077 Россия, МПК С23С 4/12. Способ сверхзвуковой газопорошковой наплавки защитных покрытий/Радченко М.В., Шевцов Ю.О., Радченко Т.Б., Игнатьев В.В.; заявл. 19.03.2007; опубл. 10.02.2009 в Б.И. № 4.
27. Радченко М.В., Прогнозирование свойств наплавленных защитных покрытий с использованием регрессионного анализа / Ю. О. Шевцов, М. В. Радченко, С. А. Маньковский, С. Г. Уварова, Т. Б. Радченко // Ползуновский вестник. – 2009. – № 4. – С. 207–210.
28. Радченко М.В., Маньковский С.А., Шевцов Ю.О., Радченко В.Г., Радченко Т.Б. Экспериментальные исследования технологического процесса сверхзвуковой газопорошковой наплавки для объектов теплоэнергетики // Сварочное производство, 2009.- №7.- С. 28-31.
29. Киселёв В.С., Радченко М.В., Матюхин Г.В., Радченко Т.Б., Шевцов Ю.О. Технологические аспекты контроля и диагностики процесса СГП-наплавки самофлюсующихся сплавов // Ползуновский вестник, 2012.- № 1/1.- С. 123-126.

Радченко Михаил Васильевич, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, заведующий кафедрой «Малый бизнес в сварочном производстве»,

ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВАЯ НАПЛАВКА
ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ В ВАКУУМЕ
НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗАПОРНОЙ АРМАТУРЫ

mirad_x@mail.ru, +7(3852) 290765, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, к. 202Г.

Шевцов Юрий Олегович, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, к.т.н., доцент кафедры «Малый бизнес в сварочном производстве», yuoshevtsov@mail.ru, +7(3852) 29 07 65, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, к. 202Г.

Радченко Татьяна Борисовна, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, д.т.н., профессор кафедры «Малый бизнес в сварочном производстве», mirad_x@mail.ru, +7(3852) 29 07 65, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, к. 202Г.