

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ НАПЛАВКЕ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОТЛОАГРЕГАТОВ С «КИПЯЩИМ СЛОЕМ»

М.В. Радченко¹, Ю.О. Шевцов¹, Т.Б. Радченко¹, Д.А. Конник²

¹ Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул

² Сибирское управление Ростехнадзора, г. Барнаул

В работе изложены результаты экспериментальных исследований эксплуатационных свойств защитных покрытий, полученных сверхзвуковой газопорошковой наплавкой, на различных технологических режимах и разработки технологических рекомендаций по наплавке на элементы котлов с «кипящим слоем»

Ключевые слова: котлы с «кипящим слоем», сверхзвуковая газопорошковая наплавка, микротвердость, износостойкость, световая микроскопия, фазовый анализ, технологические рекомендации

STUDY OF PROPERTIES OF PROTECTIVE COATINGS AND DEVELOPMENT OF TECHNICAL RECOMMENDATIONS FOR SURFACING ON ELEMENTS OF BOILERS WITH "BOILING LAYER"

M.V. Radchenko¹, Yu.O. Shevtsov¹, T.B. Radchenko¹, D.A. Konnik²

¹ The Altai state technical university of I.I. Polzunov, Barnaul

² Siberian Department of Rostekhnadzor, Barnaul

The paper presents the results of experimental studies of operational properties of coatings obtained supersonic gas-powder surfacing, various technological regimes and the development of technological recommendations for welding on the elements of coppers with "boiling layer"

Keywords: coppers with "a boiling layer", a supersonic gas-powder surfacing, microhardness, wear resistance, light microscopy, phase analysis, technology recommendations

Котельные установки с «кипящим слоем» обладают несомненными преимуществами по сравнению с котлоагрегатами иного типа: высокий уровень сгорания любых видов углей, высокий коэффициент теплопередачи, отсутствие шлакования вследствие низкой температуры горения топлива, уменьшение выброса оксида азота на 20-30%, низкая чувствительность к зольности топлива. Однако влияние абразивных потоков при высоких температурах и окислительное воздействие с продуктами горения на рабочие поверхности труб приводят к их активному изнашиванию, потере работоспособности и выходу из строя. Межремонтный период таких котлоагрегатов составляет всего 1,5...2,5 месяца.

Существуют различные способы решения данной проблемы [21-25]. Часто исполь-

зуют съемные щитки из чугуна, которыми защищают поврежденную поверхность, что экономически выгодно, но малоэффективно. Поэтому прибегают к созданию защитных покрытий газотермическими методами. В основном это газопорошковая наплавка, обладающая следующими положительными свойствами: незначительное проплавление основного металла, возможность наплавки мелких деталей сложной формы и в труднодоступных местах, уменьшение опасности возникновения трещин, так как процесс наплавки включает предварительный подогрев и последующее замедленное охлаждение изделия, независимость от пространственного положения детали и низкая стоимость оборудования [16-20].

Вместе с тем у газопорошковой наплавки присутствуют и недостатки: низкая производительность при наплавке массивных деталей,

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ НАПЛАВКЕ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОТЛОАГРЕГАТОВ С «КИПЯЩИМ СЛОЕМ»

требующих продолжительного предварительного подогрева, требования высокой квалификация оператора [1].

Целью данной работы являлось исследование свойств защитных покрытий поверхностей элементов котлов с «кипящим слоем», полученных газопорошковой наплавкой, для создания которых применялась ручная, дорзукующая горелка типа ГМ-5 (производства ОАО «Барнаульский аппаратно-механический завод»). В качестве наплавочного материала использовался порошковый высоколегированный самонаплавление сплав системы Ni-Cr-B-Si типа ПГ-СРЗ с фракцией 80...120 мкм.

Для решения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести комплекс металлографических исследований структуры:
 - световую микроскопию;
 - фазовый рентгеноструктурный анализ структурных составляющих;
2. Определить эксплуатационные и механические свойства:
 - микротвердость;
 - износостойкость;

Для проведения исследований подготавливались наплавленные образцы, из которых по стандартным методикам в соответствии с рекомендациями [2, 3] изготавливались шлифы.

Структурные исследования проводили на оптическом световом микроскопе ММР-4, при

увеличении до 1000 раз. Фотографии микроструктур получены с помощью цифровой фотокамеры Nikon 4300 (фокус $F = 4,5$).

С целью определения внутреннего состояния покрытия был применен фазовый рентгеноструктурный анализ [4]. Съемка рентгенограмм выполнялась с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН – 2.0 с использованием монохроматического излучения изотопов кобальта и железа, что обеспечивало получение четких, не размытых дифракционных пиков для идентификации фазовых составляющих.

Микротвердость определялась на поперечном сечении образца с помощью прибора ПМТ-3М при нагрузке 50 г (0,49 Н) [5].

Для проведения испытания наплавленного покрытия на сопротивление механическому изнашиванию при сухом трении о жестко закрепленные абразивные частицы [6] использовалась универсальная установка МИ-1М.

Для оценки изнашивания использовался весовой метод, так как его рекомендуется применять преимущественно на образцах с небольшой массой. Величина весового износа определялась на лабораторных аналитических весах с точностью $2 \cdot 10^{-4}$ г (тип ВЛР-200).

На рисунке 1 представлены фотоснимки исследуемого элемента трубы, с износом наплавленного защитного покрытия.

На рисунках 2-3 изображена микроструктура основного металла и граница сплавления основного металла с защитным покрытием.

Участки износа труб пароперегревателя пылеугольной смесью

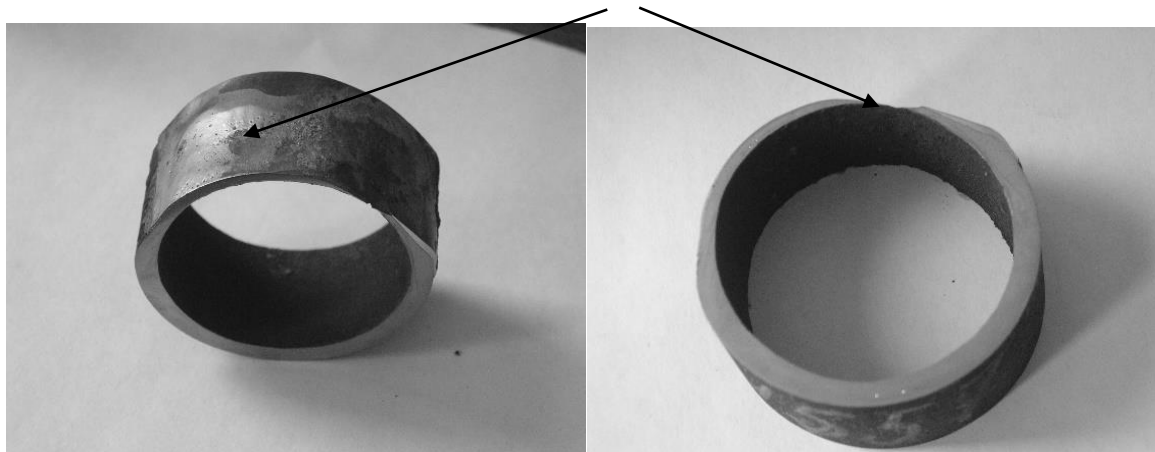


Рисунок 1 – Элемент трубы

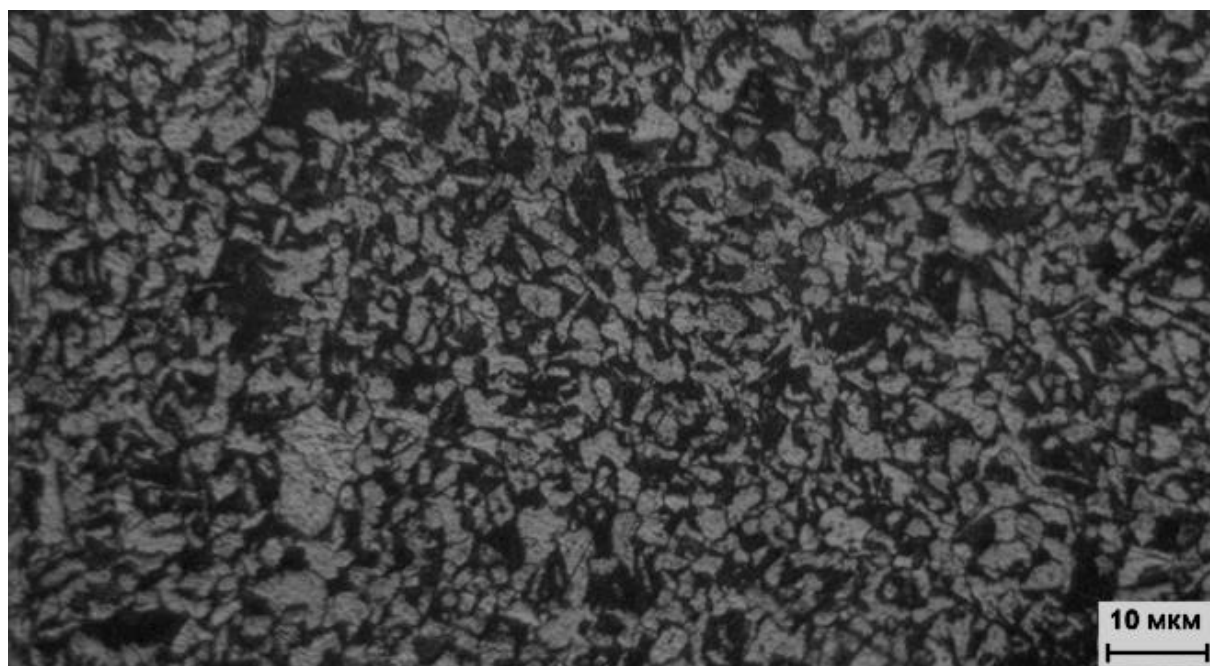


Рисунок 2 – Феррито-перлитная микроструктура основного металла

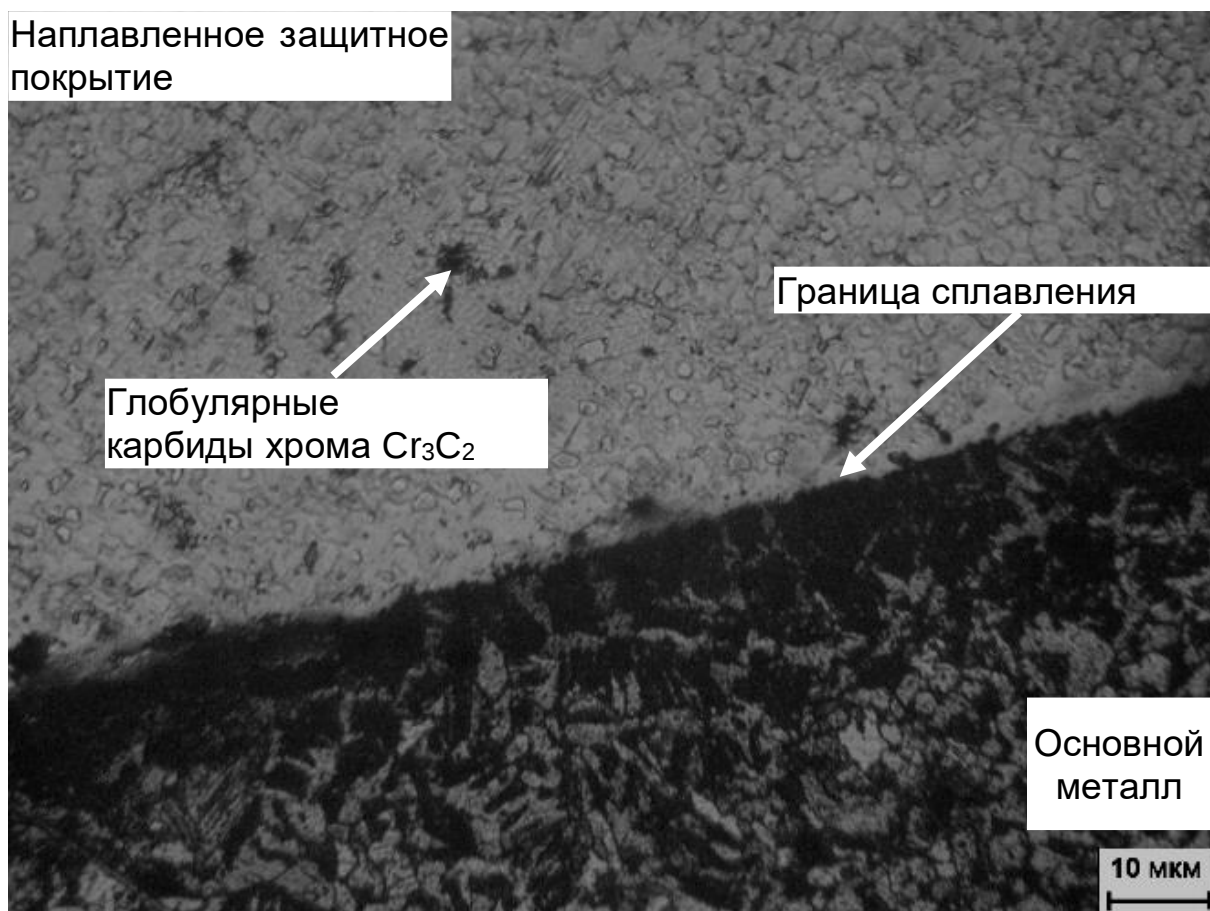


Рисунок 3 - Распределение карбидной составляющей и граница сплавления наплавленного защитного покрытия и основного металла

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ НАПЛАВКЕ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОТЛОАГРЕГАТОВ С «КИПЯЩИМ СЛОЕМ»

Анализ микроструктур показал, что структура основного металла является феррито-перлитной. Однако, ближе к границе сплавления, структура приобретает игольчатое строение. Это может быть вызвано перегревом, что с точки зрения износостойкости и качества сцепления покрытия крайне неблагоприятно и может привести к отслоению покрытия.

Граница сплавления основного металла и защитного покрытия достаточно четкая, но в большом количестве присутствуют дефекты металлургического характера (рисунок 4) поры и несплавления.

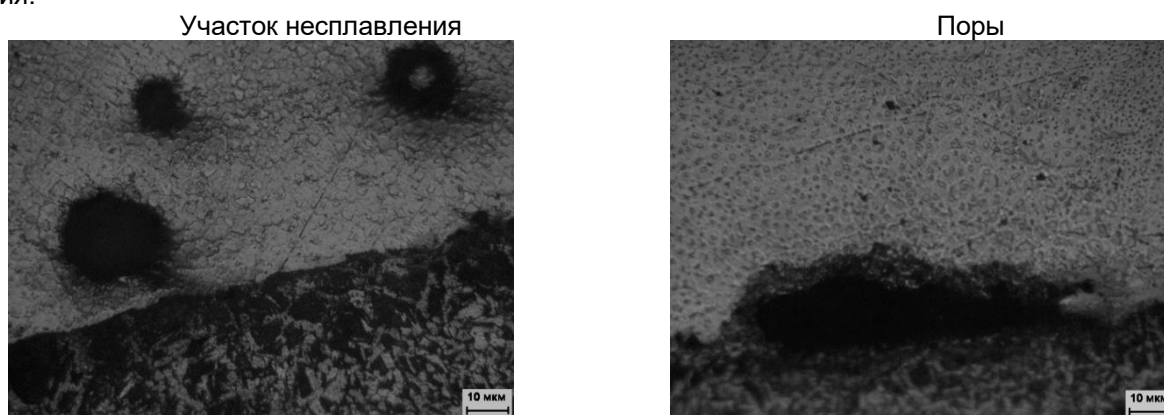


Рисунок 4 – Наличие в покрытии дефектов металлургического характера

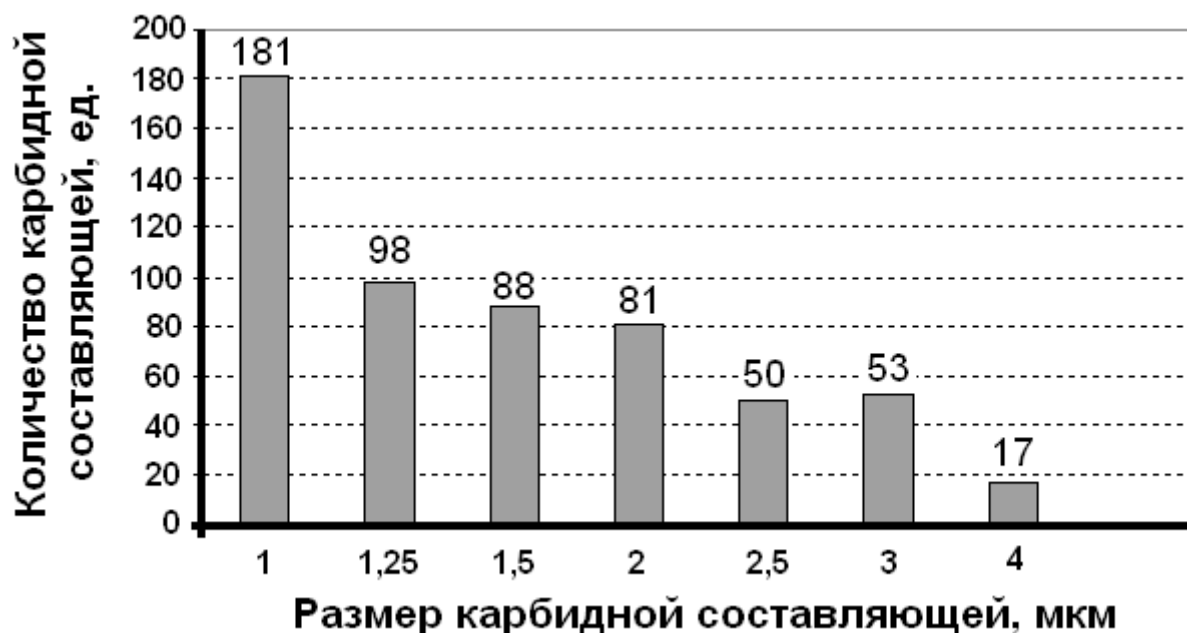


Рисунок 5 – Гистограмма количества упрочняющей карбидной фазы в наплавленном защитном покрытии

Такие обнаруженные в покрытии дефекты, как правило, вызваны нарушением технологии их нанесения, в частности, некачественной обработкой поверхности основного металла перед наплавкой, несоблюдением норм при подготовке порошкового материала и нестабильностью режимов при нанесении защитного покрытия.

Количество карбидной составляющей защитного покрытия и ее размер, на площади поперечного сечения наплавленного покрытия $S_n=0,0165 \text{ мм}^2$, отражены в гистограмме на рисунке 5.

В наплавленном покрытии, на основе никелевой матрицы, преобладают мелкие кар-

биды и бориды (размером 1-1,5 мкм), преимущественно правильной округлой (глобулярной) формы, в покрытии располагаются равномерно, от границы сплавления до поверхности. Размеры включений колеблются незначи-

тельно в интервале от 1 до 4 мкм, что является фактором, положительно влияющим на износостойкость наплавки.

Как известно, более полное представление о свойствах защитного покрытия дает фазовый рентгеноструктурный анализ.

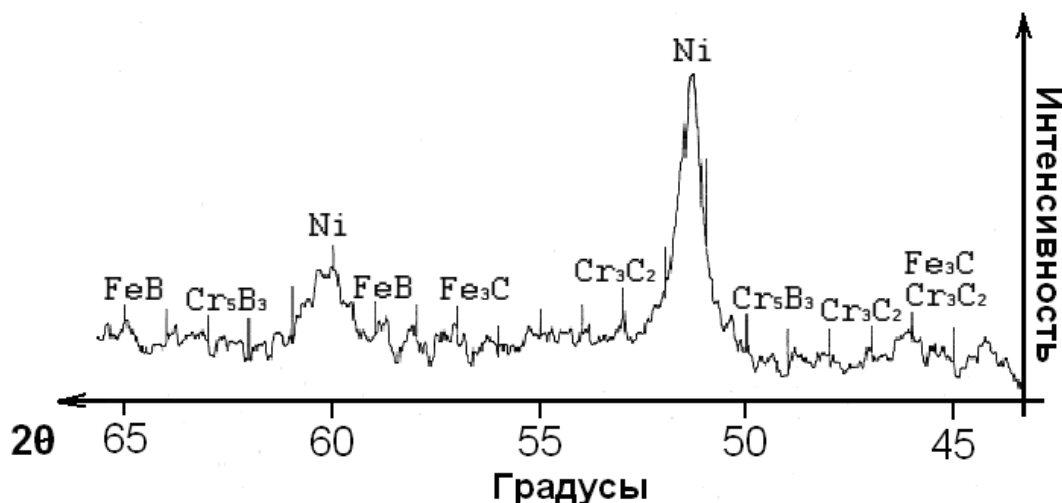


Рисунок 6 – Фазовый состав защитных покрытий

Анализ дифрактограмм (рисунок 6) позволяют говорить о том, что в защитном покрытии, выполненном газопорошковой наплавкой, основным материалом является твердый раствор легирующих элементов в γ -Ni (два характерных пика, на 52 и 60,8 градусах), а также присутствуют карбиды типа Fe_3C , Cr_3C_2 , Cr_7C_3 и бориды FeB , Cr_5B_3 . Наличие таких карбидов в структуре защитного покрытия предопределяет высокие физико-механические свойства (теплоустойчивость, прочность, твердость, устойчивость к износу).

Для определения механических свойств защитных покрытий было выполнено исследование распределения значений микротвердости в поперечном сечении покрытий. По результатам измерений и на основе расчетных данных были построены графики распределения значений микротвердости по сечению

наплавленного металла (рисунок 7) в трех различных сечениях.

Как показывает анализ графиков, защитное покрытие обладает твердостью на 100-150 МПа выше, чем у основного металла. Но распределение микротвердости в покрытии неравномерное, скачки вверх на графиках означают, что при измерении микротвердости вдавливание индентора пришлось на твердую карбидную фазу, а провалы – на пластичную никелевую матрицу.

Сравнительным исследованием износостойкости были подвергнуты образцы с защитным покрытием, созданным газопорошковой наплавкой и образец из стали 45 (эталон). Испытания проводили на образцах площадью $S_{\text{обр.}} = 1 \text{ см}^2$ при постоянной нагрузке $P = 400 \text{ г}$. Результаты испытаний представлены в виде графиков на рисунке 8.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ
И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ИХ НАПЛАВКЕ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОТЛОАГРЕГАТОВ
С «КИПЯЩИМ СЛОЕМ»

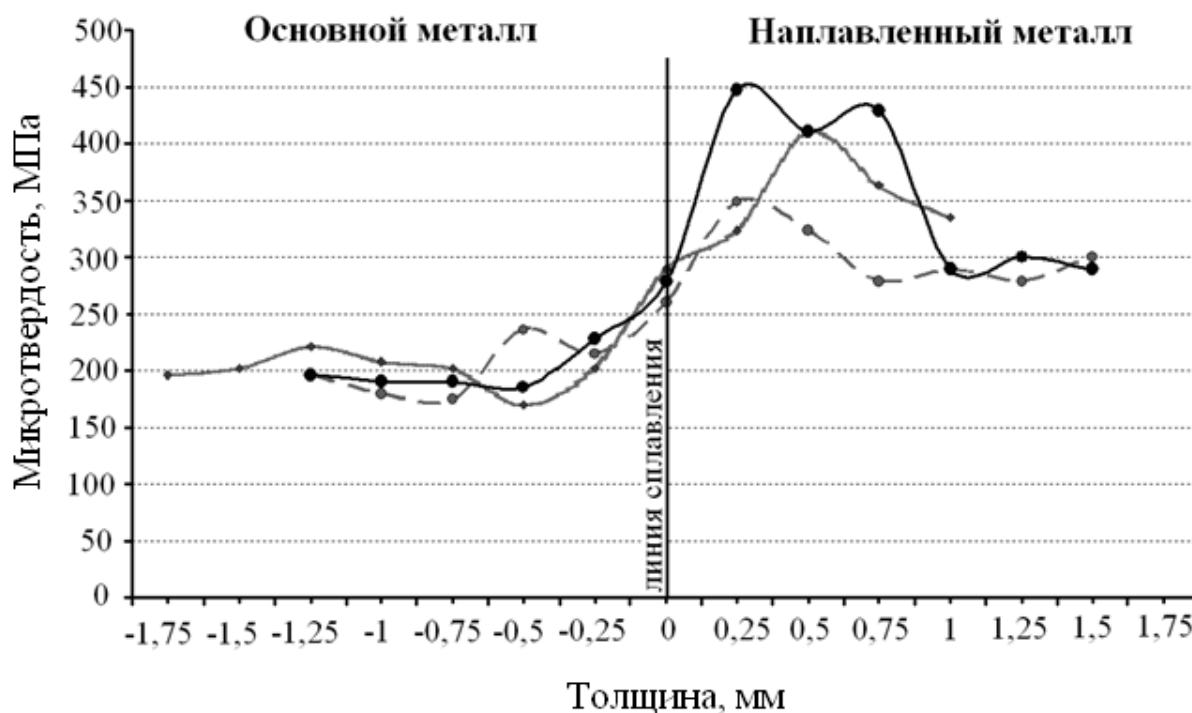


Рисунок 7 – Распределение микротвердости

Как показывают графики потери массы металла от времени, относительная потеря массы образца с защитным покрытием в 2-2,5 раза меньше образца стали 45.

Таким образом, на основе результатов работы установлены причины неудовлетворительного качества защитных покрытий, полученных газопорошковой наплавкой. На этом основании сформулированы технологические рекомендации по созданию качественных защитных покрытий на изнашиваемых элементах котлоагрегатов с «кипящим слоем», которые заключаются в следующем:

1) Наплавочный порошковый материал перед наплавкой просушить при температуре 200...250 °С в течение 1...1,5 ч и просеять через сито с размерами ячеек, соответствующими размерам требуемых гранул, для подбора определенной дисперсности гранул. В качестве наплавочного материала использовать высоколегированный порошковый сплав системы Ni-Cr-B-Si, а именно ПГ-СРЗ ОМ (фракция 40...100 мкм).

2) Поверхность основного металла перед наплавкой зачистить от различных загрязнений (влаги, масла, пыли, ржавчины) с помощью дисковых или ленточных инструментов из абразивных материалов. После зачистки провести обезжиривание промывкой ацетоном.

3) Давление газов необходимо поддерживать в следующих диапазонах: пропан - 0,8...1,0 атм., кислород – 4,5...5,0 атм. Подогрев поверхности основного металла осуществлять на дистанции 10...15 мм. Наплавку выполнять на дистанции $L_n=20...25$ мм при скорости $V_n=3...5$ м/ч, сопло горелки располагать под углом 90° к поверхности детали. Подачу наплавочного материала и его оплавление начинать после «запотевания» поверхности основного металла.

4) После остывания зачистить наплавленный металл и близлежащие участки от разлетевшихся и неоплавившихся частиц порошкового материала.

5) Наплавленный металл визуально контролировать на наличие дефектов. Для определения толщины покрытий и качественных показателей (наличия пор, трещин, несплавлений) использовать метод ультразвукового контроля и прибор УТ-93П (ТУ 25-7761.007-86).

Соблюдение сформулированных технологических рекомендаций позволит обеспечить стабильно высокое качество защитных покрытий на протяженных трубных элементах котлоагрегатов с «кипящим слоем», подверженных высокотемпературному абразивному износу [7-15].

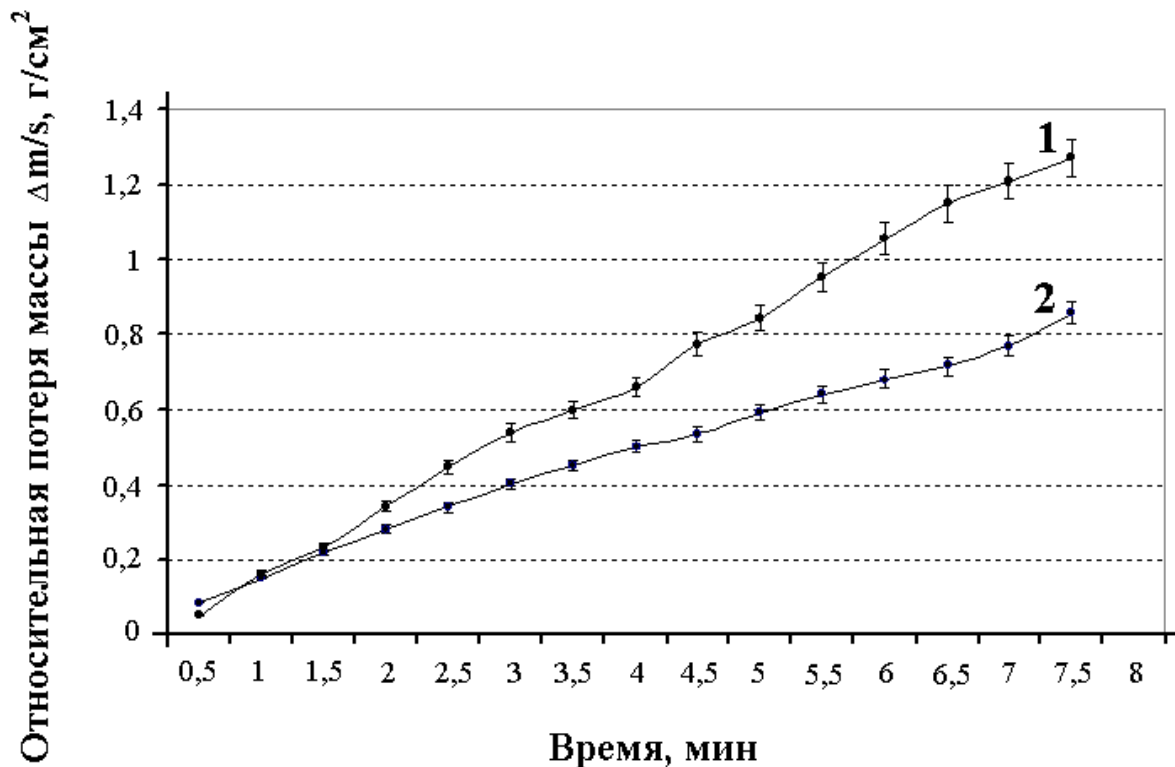


Рисунок 8 – Графики зависимости износа металла от времени:
1 – сталь 45, 2 – газопорошковая наплавка

Список литературы

1. Сварка, резка, пайка металлов – М.: Аделант, 2003. - 192 с.
2. Лаборатория металлографии / Е.В. Панченко, Ю.А. Скаков, Б.И. Кример [и др.]. – 2-е изд. – М.: Металлургия, 1972. – 240 с.
3. ГОСТ 9.302 – 79. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Правила приемки и методы контроля.
4. Рентгенографический и электронно-оптический анализ / Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. - М.: Металлургия, 1970.- 338 с.
5. Металловедение и термическая обработка стали: Справ. изд. Т.1. Методы испытаний и исследования/ Под ред. Бернштейна М.Л., Рахштадта А.Г.- 3-е изд. перераб. и доп.-М.: Металлургия, 1983.- 325 с.
6. Тушинский, Л.И., Плохов, А.В. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий. - Новосибирск: Наука, 1986.- 201 с.
7. Радченко, М.В. Разработка технологических рекомендаций по созданию защитных покрытий на трубах котлов с «кипящим слоем» газопорошковой наплавкой / М. В. Радченко, Ю. О. Шевцов, В. Г. Радченко, С. Г. Уварова // Ползуновский вестник. – 2009. – № 4. – С. 200–206.
8. Шевцов, Ю.О. Прогнозирование свойств наплавляемых 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.
9. 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.
10. Радченко М.В., Киселев В.С., Шевцов Ю.О., Уварова С.Г., Радченко Т.Б., Радченко В.Г. Комплексная диагностика сверхзвуковых газовых струй в процессе газопорошковой наплавки износостойких покрытий // Сварка и диагностика, 2011.- №1.- С. 31-36.
11. Радченко М.В. Разработка технологических рекомендаций по созданию защитных покрытий на трубах котлов с «кипящим слоем» газопорошковой наплавкой /М. В. Радченко, Ю. О. Шевцов, В. Г. Радченко,

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ
И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ИХ НАПЛАВКЕ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОТЛОАГРЕГАТОВ
С «КИПЯЩИМ СЛОЕМ»

- С. Г. Уварова, Т. Б. Радченко, В. С. Киселёв // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2-2. – С. 244–250.
 12. Киселёв В.С., Радченко М.В., Матохин 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.
 13. 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.
 14. 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.- Барнаул: Изд-во Алт. гос. тех. ун-та им. И.И. Ползунова, 2013.- № 4-2.- С. 55-59.
 15. Радченко М.В., Киселев В.С., Шевцов Ю.О., Радченко Т.Б., Радченко В.Г., Уварова С.Г. Методика прогнозирования качества защитных износостойких покрытий, выполненных способом сверхзвуковой газопорошковой наплавки на объектах Ростехнадзора // Сварка и диагностика, 2014.- № 4.- С. 14-18.
 16. 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.
 17. Радченко В.Г., Исследование термоциклов при сверхзвуковой газопорошковой наплавке износостойких покрытий/ В.Г. Радченко, Радченко Т.Б., В.П Тимошенко, С.Г. Уварова, В.С. Киселёв, Радченко М.В. //Сварка и диагностика, 2011. - №2. – С. 29-32 .
 18. 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.
 19. 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.
 20. 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.
 21. 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.
 22. 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.
 23. 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.
 24. 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.
 25. Тимошенко В.П. Разработка технологии индукционной наплавки с регулируемым тепловложением. - Автореф. дисс. ... к.т.н. 05.03.06.- Барнаул, 1989.- 26 с.
- Радченко Михаил Васильевич, АлтГТУ им. И.И. Ползунова, заведующий кафедрой «Малый бизнес в сварочном производстве», 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.**
- Конник Данил Анатольевич, начальник отдела, Сибирское управление Ростехнадзора, 656037, г. Барнаул, пр. Калинина, 65; altai@nadzor22.ru. Тел. (3852) 298-438.**