

НАПЛАВКА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОТЛОВ С «КИПЯЩИМ СЛОЕМ» КАК РЕШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

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

В работе представлены пути решения энергетической проблемы сельских регионов за счет использования отходов переработки леса в качестве альтернативного топлива в котлах с «кипящим слоем», результаты исследований свойств защитных покрытий элементов котлов, полученных дозвуковой газопорошковой наплавкой и разработаны технологические рекомендации по их получению.

Ключевые слова: малая энергетика, продукты лесопереработки, газопорошковая наплавка, свойства защитных покрытий, технологические рекомендации.

В связи с постоянным ростом цен на традиционные энергоносители в теплоэнергетике целесообразен переход на альтернативные типы топлива, например, органикосохраняющие отходы предприятий сельского хозяйства и компаний по лесопереработке. Однако, сжигание такого топлива в обычных котлах весьма проблематично. С этой точки зрения котельные установки с «кипящим слоем» обладают несомненными преимуществами по сравнению с котлоагрегатами иного типа: высокий уровень сгорания любых видов отходов сельхозпредприятий, 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 [1].

Существуют различные способы решения данной проблемы. Зачастую применяются 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 [2].

Вместе с тем у газопорошковой наплавки присутствуют и недостатки: низкая производительность при наплавке массивных деталей, требующих продолжительного предварительного подогрева, требования высокой квалификации оператора [3].

Целью данной работы являлись сравнительные исследования свойств защитных покрытий элементов котлов с «кипящим слоем», полученных газопорошковой наплавкой, для создания которых применялась ручная, дозвуковая горелка типа ГН-5П (производства ОАО «Барнаульский аппаратно-механический завод»). В качестве наплавочного материала использовался порошковый высоколегированный самофлюсующийся сплав системы Ni-Cr-B-Si марки ПГ-СРЗ с фракцией 80...120 мкм. Химический состав сплава: Cr = 13,5–16,5 %, B = 2,0–2,8 %, Si = 2,5–3,5 %, Fe ~ 5 %, остальное – Ni (твердость HRC 44-48).

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи: провести комплекс металлографических исследований структуры (световую микроскопию, фазовый рентгеноструктурный анализ структурных составляющих), определить эксплуатационные и механические свойства (микротвердость, износостойкость) [4].

Для проведения исследований подготавливались образцы, из которых по стандартным методикам в соответствии с рекомендациями 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).

Фазовый рентгеноструктурный анализ выполнялся с помощью рентгеновского ди-

НАПЛАВКА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОТЛОВ С «КИПЯЩИМ СЛОЕМ» КАК РЕШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

фрактометра 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 (0,49Н).

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

При оценке 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).

Исследование проводилось на реальных образцах труб элементов котлоагрегатов с «кипящим слоем», работавших определенное время в режиме полной эксплуатации. Визуальный контроль качества наплавленных слоев показал, что ряду предприятий не всегда удается добиться стабильного высокого качества защитных покрытий на элементах, подверженных высокотемпературному абразивному износу. Причиной этого, как правило, является несоблюдение инструкций РД 34.26.602 и РТМ 70.0009.014-83 [5].

В частности, на рисунке 1 представлены фотоснимки исследуемого элемента трубы с износом наплавленного защитного покрытия.



Рисунок 1 – Элемент трубы с покрытием

Такой износ покрытия является следствием грубейшего нарушения технологии газопорошковой наплавки, что в свою очередь может привести к аварийным ситуациям на котельных. В результате остановки котлоагрегатов происходят перебои с теплом, что особенно недопустимо в зимний период для жилых кварталов, а также таких социально значимых объектов, как например, больницы, школы и т.д. При этом сами котлоагрегаты нуждаются в сложном, длительном, трудоемком и дорогостоящем ремонте.

На рисунках 2, 3 изображена микроструктура основного металла и границы сплавления основного металла с защитным покрытием исследуемого участка трубы.

Проанализировав полученные при микроструктурном анализе фотоснимки, можно сделать вывод, 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. Граница сплавления основного металла и защитного покрытия достаточно четкая, но в большом количестве присутствуют дефекты металлургического характера: поры и несплавления (рисунок 4). Как показывает практика, обнаруженные дефекты вызваны следующими нарушениями технологии: некачественная обработка поверхности основного металла перед наплавкой (поверхность основного металла должна быть зачищена от различных загрязнений: влаги, масла, пыли, ржавчины), несоблюдение норм при подготовке порошкового материала (порошковый материал перед наплавкой необходимо просушить при температуре 200...250 °С в течение 1...1,5 ч) и нестабильность 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 гистограммах на рисунке 5.

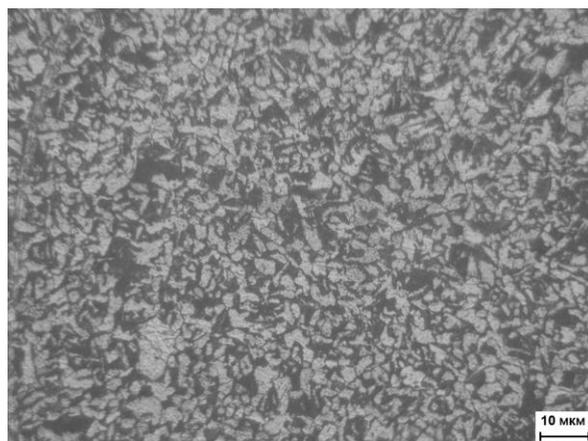


Рисунок 2 – Микроструктура основного металла

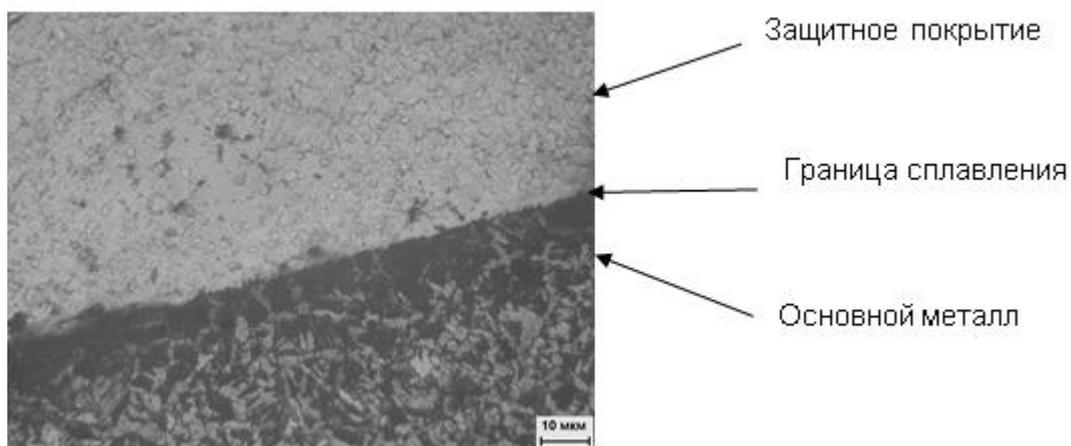


Рисунок 3 – Распределение карбидной составляющей и граница сплавления защитного покрытия и основного металла

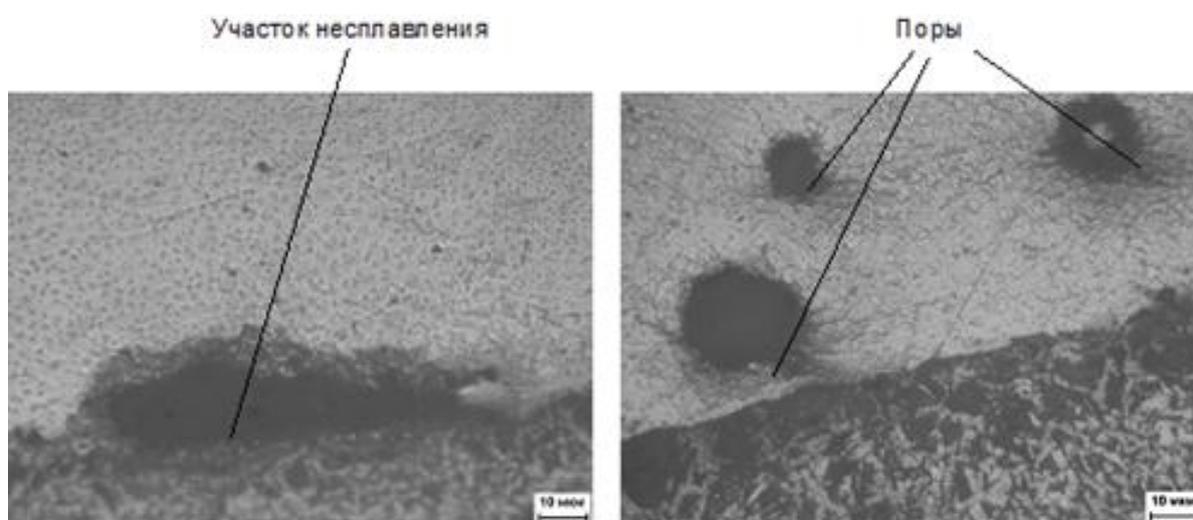


Рисунок 4 – Наличие в покрытии дефектов металлургического характера

НАПЛАВКА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОТЛОВ С «КИПЯЩИМ СЛОЕМ»
КАК РЕШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ



Рисунок 5 – Гистограммы упрочняющей фазы в защитном покрытии

В наплавленном покрытии, на основе никелевой матрицы, преобладают твердые включения малых размеров, в основном правильной округлой формы, более крупные включения вытянуты и бесформенны. Распределение упрочняющей фазы в покрытии не равномерное.

Более полное представление о структурных составляющих защитного покрытия дает фазовый рентгеноструктурный анализ. Представленные дифрактограммы (рису-

нок 6) позволяют говорить о том, что в защитном покрытии, выполненном газопорошковой наплавкой, основным материалом является твердый раствор легирующих элементов в γ -Ni, а также присутствуют карбиды типа Fe_3C , Cr_3C_2 , Cr_7C_3 и бориды FeB , Cr_5B_3 . Наличие таких включений в структуре защитного покрытия предопределяет высокие физико-механические свойства (теплоустойчивость, прочность, твердость, устойчивость к износу).

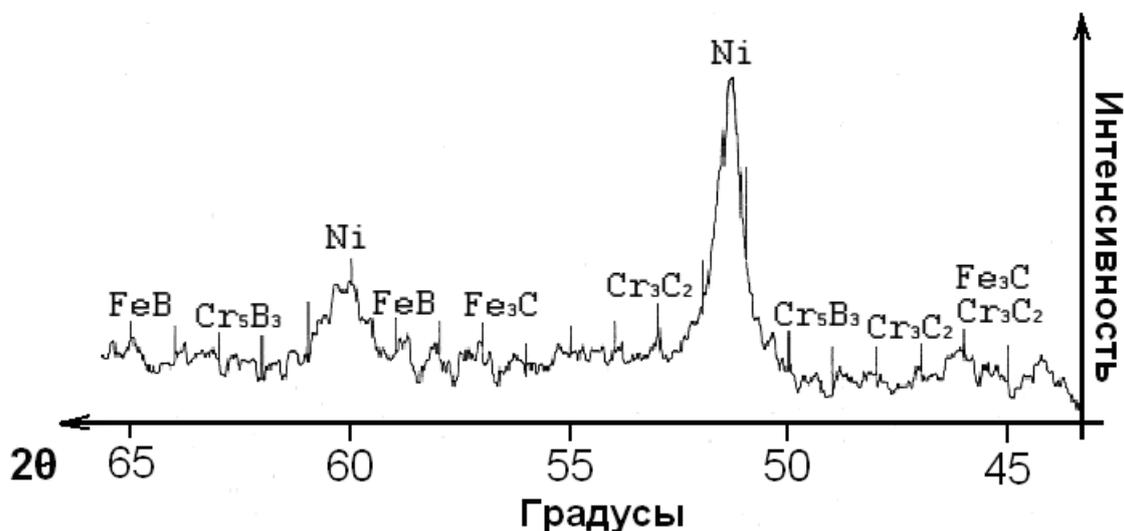


Рисунок 6 – Фазовый состав защитных покрытий

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

чению наплавленного металла (рисунок 7) в трех различных сечениях.

Как показывают графики, защитное покрытие обладает твердостью на 100–150 МПа выше, чем у основного металла и это, безусловно, является положительной характеристикой. Однако распределение микротвердости в

покрытии не равномерное, скачки вверх на графиках означают, что при измерении микротвердости вдавливание индентора пришлось на твердую карбидную фазу, а провалы – на пластичную никелевую матрицу.

Сравнительным исследованиям износо-

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

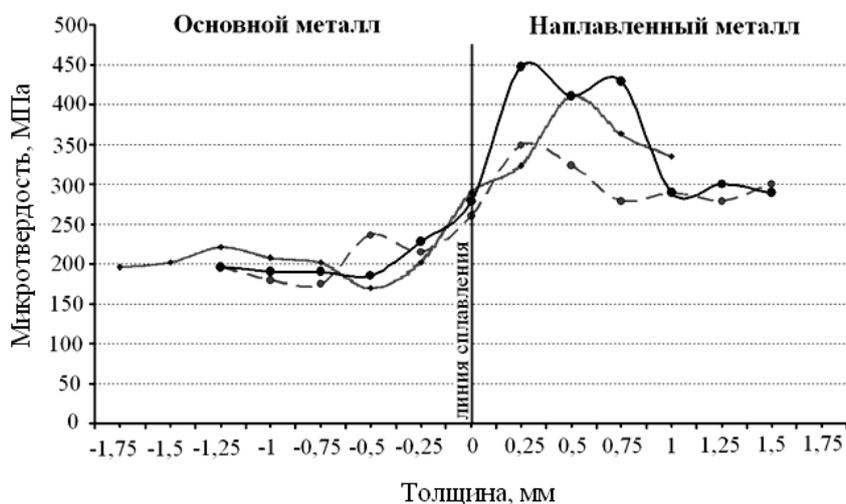


Рисунок 7 – Распределение микротвердости

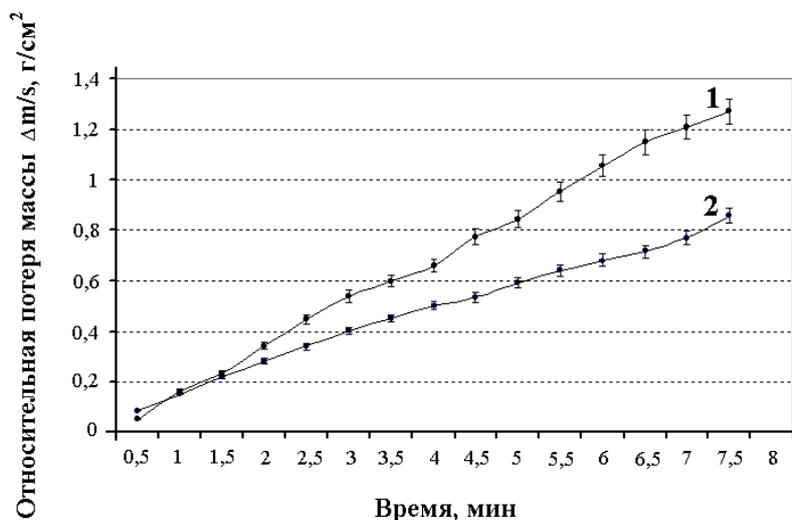


Рисунок 8 – Результаты испытаний покрытий на износостойкость о жестко закрепленные абразивные частицы: 1 – сталь 45; 2 – образец покрытия, полученного газопорошковой наплавкой

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

Таким образом, в данной работе авторами выполнен комплекс исследований наплавленных слоев на изнашиваемых элементах котлоагрегатов с «кипящим слоем», в ходе которых установлены причины неудовлетворительного качества защитных покрытий, полученных газопорошковой наплавкой и сфор-

мулированы технологические рекомендации по созданию качественных защитных покрытий, которые заключаются в следующем:

1) В качестве наплавочного материала использовать порошковый сплав системы Ni-Cr-B-Si, а именно ПГ-СРЗ ОМ (фракция 40...100 мкм).

2) Давление газов необходимо поддерживать в следующих диапазонах: пропан – 0,8...1,0 атм., кислород – 4,5...5,0 атм. Подогрев поверхности основного металла осуще-

НАПЛАВКА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ЭЛЕМЕНТЫ КОТЛОВ С «КИПЯЩИМ СЛОЕМ» КАК РЕШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОБЛЕМЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

ствлять 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.

3) 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 [6].

Далее приведены результаты исследования свойств защитных покрытий, полученных по технологии газопорошковой наплавки, разработанной в ООО «Научно-исследовательский институт Высоких Технологий» (НИИ ВТ) [7].

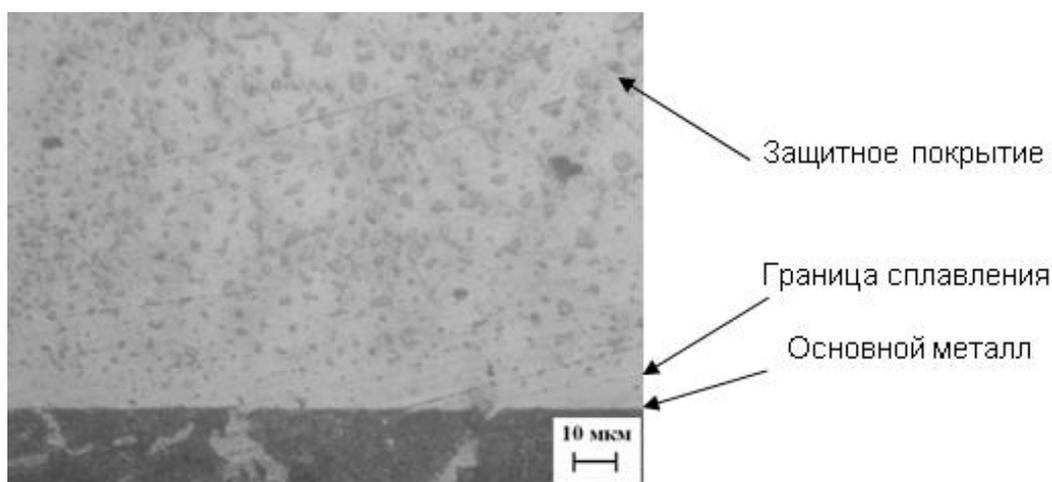


Рисунок 9 – Распределение карбидной составляющей и граница сплавления защитного покрытия и основного металла

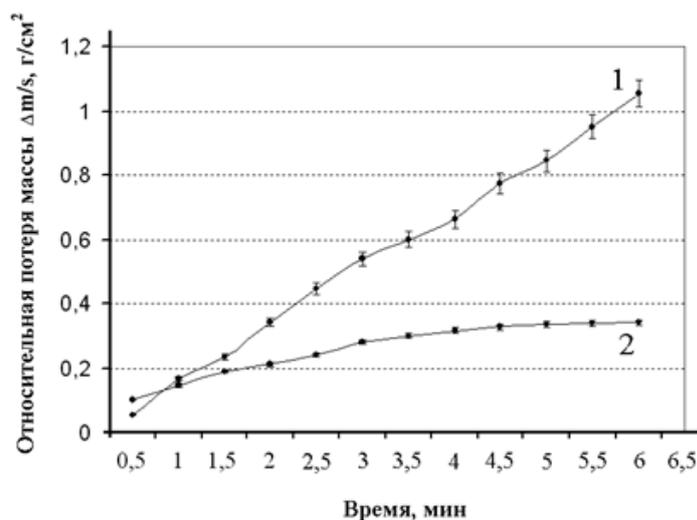


Рисунок 10 – Результаты испытаний покрытий на износостойкость о жестко закрепленные абразивные частицы: 1 – сталь 45; 2 – образец газопорошковой наплавки

На рисунке 9 показана микроструктура защитного покрытия, основного металла и граница сплавления при соблюдении всех технологических рекомендаций газопорошко-

вой наплавки. С точки зрения защиты металла от износа полученное таким образом покрытие наиболее эффективно, так как характеризуется наличием в матрице карбидов и боридов

примерно одинакового среднего размера, распределенных равномерно по покрытию и расположенных на малом расстоянии друг от друга. Граница сплавления основного и наплавленного металлов ровная, микроструктура практически не имеет дефектов.

Анализ результатов исследований износостойкости покрытий (рисунок 10) показал, что, следуя общим рекомендациям наплавки можно получить покрытие, потеря массы которого будет 3–3,5 раза ниже, чем у эталона [8].

Практическая апробация способа наплавки, разработанного в ООО «НИИ ВТ», была выполнена на предприятии ОАО «Бийский котельный завод». В качестве защитного материала был использован износостойкий высоколегированный сплав ПГ-СРЗ [9].

Как показала практика, межремонтный период котлов с незащищенными экранными трубами составляет 1,5...2,5 месяца. Обследование, проведенное во время останова котлов с наплавленными защитными покрытиями, после двух лет эксплуатации, в условиях котельной г. Борзя, следов износа не выявили. Это свидетельствует о существенном повышении стойкости труб с защитными покрытиями при работе в условия высокотемпературного газоабразивного износа.

Экономический эффект от внедрения разработанной технологии на одном котле составил 3,6 млн. рублей в год, при стоимости ремонта одного котла с заменой комплекта экранных труб 600 тыс. рублей.

Таким образом, применение котлов с «кипящим слоем» в сочетании с использованием в качестве альтернативного топлива местных сельскохозяйственных сырьевых ресурсов позволит эффективно решить проблему энергетики на региональном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Шевцов, Ю. О. Прогнозирование свойств наплаваемых 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.
3. Радченко, М. В. Экспериментальные исследования технологического процесса сверхзвуковой газопорошковой наплавки для объектов теплоэнергетики / М. В. Радченко, С. А. Маньковский, Ю. О. Шевцов, В. Г. Радченко, Т. Б. Радченко //

Сварочное производство. – 2009. – № 7. – С. 28–31.

4. 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. 31–36.

5. 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, Т. Б. Радченко, В. С. Киселев // Ползуновский вестник. – 2011. – № 2-2. – С. 244–250.

6. Киселев, В. С. Технологические аспекты контроля и диагностики процесса СГП-наплавки самофлюсующихся сплавов / В. С. Киселев, М. В. Радченко, Г. В. Матюхин, Т. Б. Радченко, Ю. О. Шевцов // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1/1. – С. 123–126.

7. Радченко, М. В. Практика использования концентрированных потоков энергии для сварки и создания защитных покрытий / М. В. Радченко, С. Г. Уварова, Ю. О. Шевцов, В. Г. Радченко, В. А. Марков // Ползуновский вестник. – 2012. – № 1/1. – С. 248–254.

8. 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.

9. 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.

Радченко Михаил Васильевич, заведующий кафедрой «Малый бизнес в сварочном производстве», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: mirad_x@mail.ru, тел.: +7(3852) 290765.

Шевцов Юрий Олегович, доцент кафедры «Малый бизнес в сварочном производстве», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: yuoshevtsov@mail.ru, тел.: +7(3852) 290765.

Радченко Татьяна Борисовна, профессор кафедры «Малый бизнес в сварочном производстве», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: mirad_x@mail.ru, тел.: +7(3852) 290765.

Киселев Вадим Сергеевич, доцент кафедры «Малый бизнес в сварочном производстве», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46, e-mail: vadserkis@yandex.ru, тел.: +7(3852) 290765.