

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

Объединенного института машиностроения

НАН Беларуси, к.т.н.



С.Н. Поддубко

«13» мая 2025 г.

ОТЗЫВ ОППОНИРУЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Карпца Максима Николаевича

«Процесс получения защитных покрытий с повышенной адгезией из борированной стальной проволоки гиперзвуковой металлизацией на деталях калийной отрасли», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.10 – сварка, родственные процессы и технологии

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Диссертационная работа Карпца М.Н. посвящена изучению закономерностей формирования структуры, фазового состава и свойств газотермических покрытий, получаемых путем гиперзвукового распыления стальных борированных проволоочных материалов. Определены режимы борирования проволок из сталей различных классов, а также технологические режимы их гиперзвукового напыления, позволяющие формировать стальные газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления с основой, твердостью и износостойкостью, что обеспечило требуемый уровень свойств восстанавливаемых поверхностей деталей, работающих в калийной отрасли.

Тематика выполненных исследований соответствует приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь на 2021–2025 годы, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 27.07.2020 № 438 и приоритетным направлениям научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы, утвержденным Указом Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 № 156.

Диссертационная работа по своим целям, решаемым задачам и полученным результатам соответствует отрасли технических наук и специальности 05.02.10 – сварка, родственные процессы и технологии (п. 3, 6, 8 области исследований), по которой она представлена к защите.

Научный вклад соискателя в решение научной задачи с оценкой его значимости

Соискателем получены новые научно-обоснованные результаты, совокупность которых вносит весомый вклад в решение поставленной научной задачи, а именно, в разработку технологии получения газотермических покрытий, харак-

теризующихся повышенной прочностью сцепления с основой и имеющих высокую износостойкость и стойкость к коррозионному разрушению в солевых растворах за счет использования при гиперзвуковой металлизации стальных борированных проволочных материалов и, в частности:

- отработаны технологии получения и изготовлены новые проволочные материалы для гиперзвуковой металлизации, представляющие собой стальные борированные проволоки из сталей различных классов с массовым содержанием бора в поверхностных слоях от 0,58 до 4,48 %, что позволило снизить интенсивность окисления распыляемых стальных частиц и, как следствие, повысить прочность сцепления формируемых покрытий с основой до ≈ 44 %;

- определены параметры процесса гиперзвуковой металлизации борированных проволочных материалов, заключающиеся в снижении на 22-50 % скорости подачи проволоки при напылении и повышении напряжения дугового разряда металлизатора на 10-15 % при минимальной возможной силе тока для каждой марки стали по сравнению с режимами напыления проволок без боридного слоя;

- установлены оптимальные концентрации бора в поверхностных слоях проволочных материалов из сталей различных классов приводящие к максимальному повышению прочности сцепления с основой, твердости и износостойкости формируемых из них покрытий и заключающиеся в насыщении проволоки из стали Св-08Г2С до 3,55-4,48 масс. % бора, проволоки из стали ER316LSi до 1,5-2,11 масс. % бора, а проволоки из стали 95X18 до 1,03-1,28 масс. % бора.

Конкретные научные результаты (с указанием их новизны и практической значимости), за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень

Карпцу М.Н. может быть присуждена ученая степень кандидата технических наук по специальности 05.02.10 – сварка, родственные процессы и технологии за научно-обоснованные результаты, включающие:

- теоретически обоснованную и экспериментально доказанную роль бора в раскислении оксидов железа при распылении стальных борированных проволочных материалов методом гиперзвуковой металлизации, что позволило повысить прочность сцепления напыляемых покрытий до 44 % по сравнению с газотермическими покрытиями, формируемыми из неборированных проволок;

- установлена оптимальная концентрация активатора AlF_3 , использующегося при борировании проволок из сталей Св-08А, Св-08Г2С, ER316LSi, ER2209 и 95X18, а также температурно-временные параметры борирования, обеспечивающие формирование глубоких диффузионных слоев в проволочных материалах с массовым содержанием бора от 0,58 до 4,48 %;

- экспериментально установленные параметры процесса гиперзвукового напыления борированных проволочных материалов, отличающихся от стандартных режимов напыления пониженной на $\approx 22-50$ % скоростью подачи проволок и

повышенным на 10-15 % напряжением электрического дуги при поддержании минимально возможной силы тока в процессе напыления;

- опытно-промышленную апробацию режимов гиперзвукового напыления борированных проволочных материалов из сталей Св-08Г2С (1,5-2,0 масс. бора) и ER316LSi (1,0-2,0 масс. % бора) на посадочную поверхность подшипника в чугунном корпусе редуктора Ц2У-200 и втулку насоса 5ГРк-8, соответственно, что позволило повысить их срок службы более чем в 2 раза.

Научная значимость полученных результатов заключается в установлении закономерностей формирования структуры, фазового состава и свойств газотермических покрытий из самозащитных борированных проволочных материалов из сталей Св-08А, Св-08Г2С, ER316LSi, ER2209 и 95Х18.

Практическая значимость заключается в том, что результаты исследований режимов борирования стальных проволочных материалов и параметров процесса их гиперзвукового напыления позволили обеспечить формирование покрытий с повышенной твердостью и прочностью сцепления с основой. В частности, проведена апробация и внедрение на ОАО «Беларуськалий» полученных результатов исследований при восстановлении посадочной поверхности подшипника редуктора Ц2У-200 и втулки насоса 5ГРк-8, что позволило повысить их срок службы более чем в 2 раза.

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Объем и уровень проведенных при выполнении диссертационной работы теоретических и экспериментальных исследований свидетельствуют о способности соискателя самостоятельно решать сложные научно-технические задачи и применять полученные результаты исследований на практике. Выполненные научные исследования показывают высокую квалификацию соискателя в области разработки и создании новых материалов для газотермического напыления.

Все результаты, выносимые на защиту, получены соискателем лично или при его определяющем вкладе. Достоверность полученных результатов опирается на физическую обоснованность выбранных методов исследования, используемого измерительного оборудования, экспериментальное подтверждение теоретических расчетов и сопоставление полученных результатов с литературными данными.

Полученные научные и прикладные результаты диссертационной работы указывают на достаточный уровень научной квалификации Карпца М.Н. и его соответствие ученой степени кандидата технических наук. Диссертация отвечает требованиям п. 20 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата технических наук. Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации. Дис-

сертация и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК Республики Беларусь.

Результаты диссертации апробированы на международных конференциях и опубликованы в 12 научных работах, в том числе 8 статьях, включенных в Перечень изданий ВАК Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований.

Рекомендации по использованию результатов диссертации, которые могут найти практическое применение

Разработанная технология борирования стальных проволочных материалов и их газотермического напыления методом гиперзвуковой металлизации может быть использована при выполнении ремонтных работ изношенных поверхностей трения деталей, работающих в условиях агрессивных сред, с помощью формирования на их поверхностях покрытий с повышенной коррозионной стойкостью, износостойкостью и прочностью сцепления.

Замечания по диссертационной работе.

1. Приведенная на рисунке 4.29 схема формирования покрытий методом гиперзвукового напыления борированных проволочных материалов не в полной мере отражает механизм образования боридов железа в объеме распыляемых частиц в процессе металлизации;

2. На рентгеновских дифрактограммах от поверхностных слоев газотермических покрытий (рисунок 4.19, 4.20), полученных гиперзвуковым распылением стальных борированных проволочных материалов, отсутствуют соединения бора (B_2O_3 , FeB, Fe_2B , $Fe_3(C, B)$).

3. На микроструктурах, представленных в диссертационной работе, отсутствуют масштабные линейки, что затрудняет чтение материала и, в частности, не позволяет оценить глубину борированных слоев в проволочных материалах (например, рисунки 3.8, 3.10- 3.13, 3.21).

Приведенные замечания не затрагивают основных положений, вынесенных на защиту, и не снижают общую положительную оценку выполненной на высоком научном уровне работы, ее практической значимости, достоверности и новизны основных результатов и выводов.

Заключение

Диссертационная работа Карпца Максима Николаевича «Процесс получения защитных покрытий с повышенной адгезией из борированной стальной проволоки гиперзвуковой металлизацией на деталях калийной отрасли», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной квалификационной научной работой, которая по уровню научной новизны и практической значимости соответствует требованиям п. 20 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, предъявляемым к диссертационным работам, а ее автору может быть присвоена ученая степень кандидата технических наук по специальности 05.02.10 –

сварка, родственные процессы и технологии за новые научно обоснованные результаты в области технологий получения новых материалов и формирования из них защитных покрытий методом гиперзвуковой металлизации, включающие:

- экспериментально подтвержденное раскисление оксидов железа атомами бора при гиперзвуковом распылении стальных проволоочных материалов из сталей Св-08А, Св-08Г2С, ER316LSi, ER2209 и 95X18, позволившее формировать покрытия на обрабатываемой поверхности детали, характеризующиеся пониженным содержанием оксидов железа и до ≈ 44 % более высокой прочностью сцепления с основой;

- установленные режимы борирования стальных проволок из сталей различных классов, обеспечивающие максимальную глубину боридного слоя с оптимальным массовым содержанием бора в их поверхностных слоях, составляющим 3,0-4,0 масс. % для проволоки из стали Св-08Г2С, 0,5-1,0 масс. % для проволоки из стали 95X18 и 1,0-2,0 масс. % для проволоки из стали ER316LSi;

- режимы гиперзвукового напыления стальных борированных проволоочных материалов, отличающихся от стандартных параметров напыления пониженной на ≈ 22 -50 % скоростью подачи проволок и повышенным на 10-15 % напряжением электрического дуги при поддержании минимально возможной силы тока в процессе напыления;

- опытную апробацию полученных результатов исследований на ОАО «Беларуськалий» при восстановлении посадочной поверхности подшипника редуктора Ц2У-200 и втулки насоса 5ГРк-8 путем напыления стальных борированных проволок из сталей Св-08Г2С (1,5-2,0 масс. бора) и ER316LSi (1,0-2,0 масс. % бора), соответственно, что позволило повысить срок службы изделий в 2 раза;

что в совокупности позволило развить представления о процессах формирования газотермических покрытий из самозащитных диффузионно-борированных проволоочных материалов, и, в частности, повысить прочность сцепления напыленных покрытий с основой до ≈ 44 % и увеличить срок службы восстановленных деталей, работающих в условиях агрессивных сред, до ≈ 2 раз.

Эксперт от оппонирующей организации назначен приказом генерального директора ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси» № 51 от 22.04.2025 г.

Доклад соискателя и проект отзыва на диссертационную работу Карпца М.Н. рассмотрены на семинаре Научно-технического центра технологий машиностроения и технологического оборудования Государственного научного учреждения «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси», протокол № 2 от 13.05.2025 г.

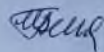
В работе семинара приняли участие 25 научных работников Объединенного института машиностроения НАН Беларуси, из них с ученой степенью – 15, в том числе 3 доктора наук и 12 кандидатов наук.

Соискатель выступил с докладом и ответил на заданные ему вопросы. Состоялось обсуждение доложенных результатов исследований и проекта отзыва оппонировавшей организации, подготовленного экспертом.

Результаты открытого голосования участников семинара, имеющих ученые степени, относительно принятия отзыва по диссертационной работе и по вопросу присуждения Карпцу М.Н. ученой степени кандидата технических наук:

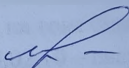
«за» – 15 (единогласно), «против» – 0, «воздержались» – 0.

Председатель научного семинара,
доктор технических наук, профессор



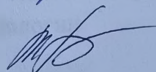
М.А. Белоцерковский

Секретарь научного семинара,
кандидат технических наук



Н.Н. Максимченко

Эксперт по диссертации,
кандидат технических наук



А.Н. Григорчик