

УДК 621.793.7

НОВЫЕ БОРИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

С.И.Чернецкий¹, Г.В. Петришин²

¹Научно-технический центр комбайностроения ОАО «Гомсельмаш»,
г. Гомель, Республика Беларусь

²Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет им. П.О.Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь

Аннотация: В статье предложены диффузионно-борированные стальные проволоки в качестве нового электродного материала для электроискрового легирования. Покрытия на основе боридов железа (FeB и Fe_2B) обеспечивают микротвёрдость до 1800 HV и в 3–4 раза повышают износостойкость по сравнению с неупрочнённой сталью 65Г. Технология сочетает высокую адгезию, низкую стоимость и энергоэффективность, что делает её перспективной для упрочнения режущих элементов сельхозтехники, подверженных абразивному износу.

Ключевые слова: электроискровое легирование, износостойкость, микротвёрдость, борированные материалы, сельскохозяйственная техника, упрочнение поверхности, абразивный износ.

Abstract: The article proposes diffusion-borated steel wires as a new electrode material for electric spark alloying. Coatings based on iron borides (FeB and Fe_2B) provide microhardness up to 1800 HV and increase wear resistance by 3-4 times compared to non-hardened steel 65G. The technology combines high adhesion, low cost and energy efficiency, which makes it promising for strengthening cutting elements of agricultural machinery subject to abrasive wear.

Key words: electric spark alloying, wear resistance, microhardness, borated materials, agricultural machinery, surface hardening, abrasive wear.

Технология электроискрового легирования (ЭИЛ) является эффективным и экономичным методом повышения износостойкости, твердости и коррозионной стойкости поверхности металлических деталей [1]. Метод основан на использовании кратковременных импульсных электрических разрядов между анодом (электрод-покрытие) и катодом (обрабатываемая деталь), приводящих к переносу материала анода на поверхность катода и формированию прочного поверхностного слоя [2]. К достоинствам технологии ЭИЛ можно отнести: высокая адгезия покрытия к основному материалу (достигается за счет диффузионного и химического

взаимодействия); локальность нанесения (возможность упрочнения только критических участков детали); низкая температура процесса (деталь не подвергается объемному нагреву, что исключает коробление и изменение структуры основы); энерго- и ресурсоэффективность; простота оборудования и возможность нанесения покрытий в полевых условиях. Недостатками технологии ЭИЛ являются невысокая производительность процесса, относительно малая толщина формируемого слоя (обычно 20-100 мкм), высокая шероховатость поверхности после обработки, ограниченный перечень традиционных электродных материалов (Т15К6, ВК8, нихром, алюминий и др.), не всегда обеспечивающих требуемые свойства покрытий.

Область применения покрытий, наносимых электроискровым способом, чрезвычайно широка: упрочнение режущего инструмента, деталей штампов и пресс-форм, узлов трения в машиностроении, восстановление размеров изношенных деталей [3]. Особое значение технология имеет для сельскохозяйственного машиностроения. Режущие элементы почвообрабатывающих машин (лопатки культиваторов, ножи соломоизмельчителей, окучников, элементы косилок) работают в условиях абразивного износа и агрессивных сред, что приводит к их интенсивному износу и, как следствие, снижению качества обработки почвы и росту затрат на замену.

Традиционно для упрочнения режущих элементов сельхозтехники используются твердые сплавы или стали, упрочненные наплавкой. Однако эти методы зачастую дороги, энергоемки и приводят к деформациям деталей. ЭИЛ представляет собой альтернативу, но существующие электродные материалы (например, твердые сплавы) делают процесс дорогостоящим, а покрытия на основе карбидов вольфрама — хрупкими [4].

Использование в качестве электродного материала диффузионно-борированных проволок на основе железа позволит получать износостойкие покрытия, отличающиеся низкой себестоимостью [5]. Предполагается, что высокодисперсные и равномерно распределенные в матрице покрытия бориды железа (FeB и Fe_2B), обладающие исключительно высокой микротвёрдостью (HV 1600-2200), обеспечат высокие эксплуатационные характеристики наносимых электроискровых покрытий.

Для проверки были проведены следующие исследования.

1. Получение электродного материала: Проволока из низкоуглеродистой стали подвергалась диффузионному борированию в твердой насыщающей смеси при температуре 900-1000°C с выдержкой 2-6 часов для формирования на поверхности слоя боридов железа толщиной 100-150 мкм.

2. Электроискровое легирование: Нанесение покрытий производилось на рабочие кромки модельных образцов из стали 65Г на установке ЭЛИ-52. Оптимизировались режимы обработки (энергия разряда, частота импульсов) по критерию максимальной производительности процесса.

Металлографический анализ микроструктуры покрытий (микроскоп МИМ-10). Измерение микротвёрдости на поперечных шлифах (прибор ПМТ-3). Рентгенофазовый анализ (дифрактометр ДРОН-7) для идентификации фазового состава. Испытания на абразивный износ (прибор СМЦ-2).

Проведенные исследования показали, что микроструктура электроискрового покрытия представляет собой металлическую матрицу (на основе материала основы и электрода) с равномерно распределенными в ней мелкими включениями фаз FeB и Fe_2B , что является следствием диспергирования и переноса боридного слоя проволоки в процессе разрядов (рисунок 1).

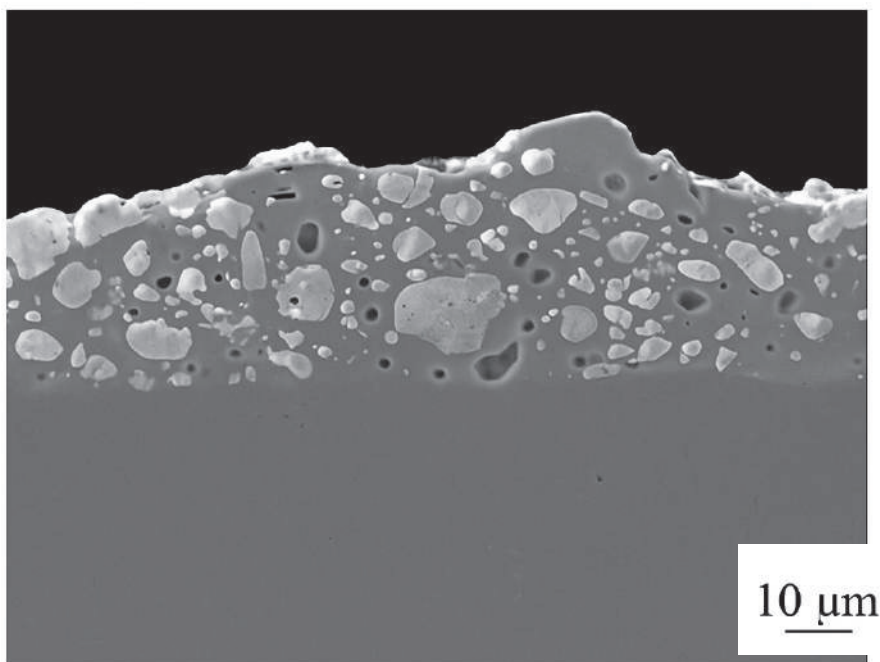


Рис. 1 – Микроструктура электроискрового покрытия, х500

На рисунке 1 видны светлые бориды железа FeB и Fe_2B , равномерно распределённые в металлической матрице. Нестабильная толщина покрытия объясняется взрывным характером технологии электроискрового метода нанесения покрытий. Ввиду кратковременного искрового воздействия на расплав выгорание легирующих элементов было несущественным, что позволило сформироваться фазам боридов железа, что практически невозможно при электродуговой наплавке ввиду существенного выгорания бора при длительном нагреве материала.

Микротвёрдость полученного покрытия составила HV 1450-1800, что существенно выше твёрдости основы (сталь 65Г, HV 250-300) и сопоставимо с твёрдостью некоторых твердых сплавов. Распределение микротвёрдости по глубине образца приведено на рисунке 2.

Как видно на рисунке 2, микротвёрдость нанесенного слоя электроискрового покрытия составляет 1200-1450 HV, что соответствует

микротвердости боридов Fe_2B , ввиду чего можно говорить о незначительном присутствии или полном отсутствии в данном покрытии высокобористой фазы FeB , которая имеет твёрдость 1880 HV. Очевидно, что высокобористая фаза FeB , содержащаяся в наплавочном материале, при нанесении покрытий выгорает и переходит в менее твёрдую фазу Fe_2B . Твёрдость подложки в переходной зоне составляет 600-650 HV, обусловленной эффектом закалки и перемешивания материала подложки с материалом покрытия. Дальнейшее снижение твёрдости подложки до 250-320 HV соответствует микротвердости стали 65Г в состоянии поставки.

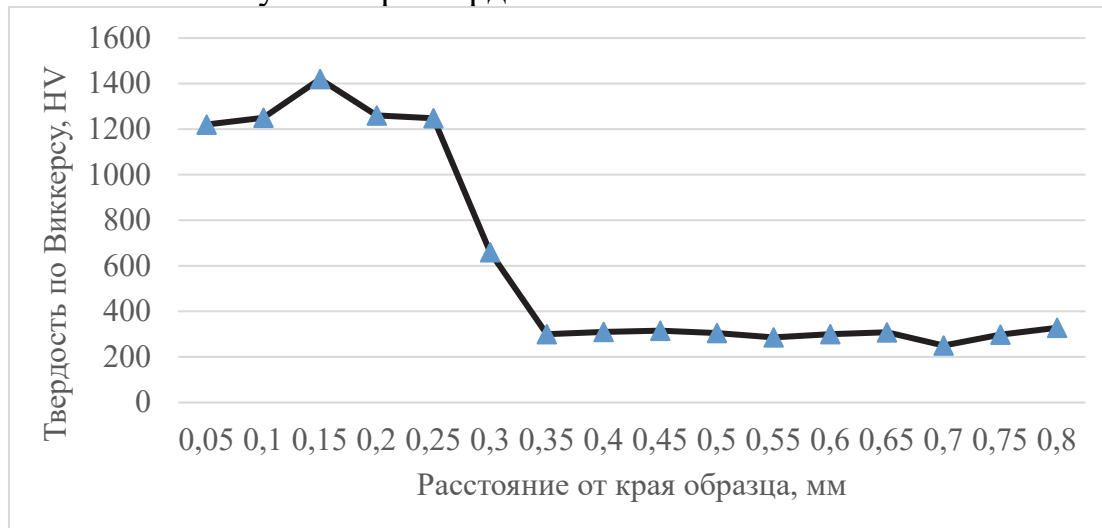


Рис. 2 – Распределение микротвердоты HV по глубине образца

Покрытие имеет хорошую адгезию к стальной подложке без признаков отслоения. Испытания на абразивный износ показали, что износостойкость образцов с борированным покрытием в 3-4 раза выше, чем у неупрочненных образцов.

Ключевое преимущество: себестоимость электродного материала на основе железной проволоки, подвергнутой борированию, значительно ниже, чем у стандартных электродов из твердого сплава.

Разработан новый перспективный электродный материал для ЭИЛ — диффузионно-борированная стальная проволока.

Экспериментально доказано, что электроискровые покрытия на основе боридов железа обладают высокими показателями микротвёрдости (до HV 1800) и износостойкости.

Технология электроискрового нанесения борированных покрытий является экономически эффективно ввиду снижения стоимости наплавочных материалов.

Нанесение разработанных электроискровых покрытий на режущие элементы сельскохозяйственной техники (лопатки культиваторов, ножи) позволит существенно повысить их срок службы в условиях абразивного износа при незначительном увеличении себестоимости самой детали. Это

открывает путь к существенной экономии на замене инструмента и повышению эффективности сельскохозяйственных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Radek N, Pietraszek J, Gądek-Moszczak A, Orman ŁJ, Szczotok A. The Morphology and Mechanical Properties of ESD Coatings before and after Laser Beam Machining. *Materials*. 2020; 13(10):2331. <https://doi.org/10.3390/ma13102331>

2. Петришин, Г. В. Диффузионно-легированный стальной порошок для магнитно-электрического упрочнения / Г. В. Петришин, Е. Ф. Пантелеенко, А. Ф. Пантелеенко // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2006. – № 4(16). – С. 26-31. – EDN HTRFZB.

3. LYALYAKIN, V.P. & KOSTYUKOV, A.Y. & ROUISSI, D.E.. (2024). HARDENING THE METAL CUTTING TOOLS BY ELECTOSPARK TREATING. *Tekhnicheskiy servis mashin*. 62. 91-96. 10.22314/2618-8287-2024-62-2-91-96.

4. Семчук, Геннадий. (2013). Methods of restoration and hardening of agricultural machinery parts. *Technology audit and production reserves*. 5. 57-59. 10.15587/2312-8372.2013.18306.

5. Bourithis, L & Papaefthymiou, Spyros & Papadimitriou, George. (2002). Plasma Transferred Arc Boriding of a Low Carbon Steel: Microstructure and Wear Properties. *Applied Surface Science*. 200. 203-218. 10.1016/S0169-4332(02)00901-7.