

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Новые технологии обработки материала на восстановление опорно-двигательных функций человека / Ю. Г. Алексеев [и др.] / Литье и металлургия. 2008. – Том 2, № 38. – С. 196–197.
2. Effect of ion-plasma nitriding and electrolyte-plasma polishing on the hardness and corrosion resistance of high-chrome steels/ V.S. Kaplenko [at al.] // Plasma physics and plasma technology : X International conference, Minsk, 12–16 Sept. 2022 : contributed papers. – Minsk, 2022. – P. 342–345.
3. Ogorek, M. Ion nitriding using the active screen method. / M. Ogorek, M., T. Freчек. // Metallurgy. – 2019. – Vol. 3–4, P. 243–246.
4. Алексеев, Ю. Г. Комплексная технология изготовления изделий медицинской техники, основанная на пластическом деформировании и физико-технических методах / Ю. Г. Алексеев, В. Н. Страх, А. Ю. Королев / Литье и металлургия. 2005. – Том 4. № 36. – С. 180–187.

УДК 621.793:66.088

МОРФОЛОГИЯ ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ БЕСКОНТАКТНЫМ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО РАЗРЯДА ИЗ ТУГОПЛАВКИХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Костюкович Г.А.¹, Хвисевич В.М.², Овчинников Е.В.¹, Михайлов В.В.³, Веремейчик А.И.², Эйсымонт Е.И.¹, Пинчук Т.И.⁴

- 1) Гродненский государственный университет им. Янки Купалы, г. Гродно, Республика Беларусь
- 2) Брестский государственный технический университет, г. Брест, Республика Беларусь
- 3) Институт прикладной физики Академии наук Молдовы, г. Кишинев, Молдова
- 4) Институт порошковой металлургии имени академика О.В. Романа, г. Минск, Республика Беларусь

Увеличение эксплуатационного ресурса деталей машин и механизмов достигается путем совершенствования структуры материала, а также модифицированием поверхностных слоев изделий различных конструкций. Одним из широко применяемых методов модифицирования поверхности различных проводящих материалов является метод электроискрового легирования металлов [1–5]. Электроискровое легирование (ЭИЛ) твердых проводящих поверхностей заключается в том, что в результате прохождения между электродами происходит направленный выброс материала электродов. В процессе электроискрового разряда разрушается преимущественно анод. Так как ЭИЛ проводится в газовой среде, то это приводит к тому, что при заданных условиях материал анода,

находящийся в основном в газовой или жидкой фазах, наносится на катод. В результате взаимодействия наносимого материала с материалом катода и окружающей средой на катоде формируется слой с определенными физико-механическими характеристиками. Этот слой имеет сложный химический состав и структуру и обычно содержит не только материал анода, но и твердые растворы, химические соединения, различные сплавы и псевдосплавы. Формирование электроискровых покрытий приводит к существенному изменению механических, электрических, термических, магнитных, термоэмиссионных свойств модифицируемых поверхностных слоев твердых тел. Достоинством электроискрового легирования является: высокая адгезионная прочность покрытия к субстрату; возможность получения покрытий из тугоплавких материалов без разогрева материала основы; поверхности, на которых формируются покрытия ЭИЛ, не требуют никакой предварительной подготовки; простота, надежность и транспонтабельность технологического оборудования. Однако методу электроискрового легирования присущи и недостатки: ограниченный круг наносимых материалов, т.е. невозможность использования материалов с высоким удельным сопротивлением ($\rho > 10^{-2}$ - 10 Ом см), диэлектриков; трудности нанесения некоторых материалов на определенные типы подложек (в частности на алюминий и его сплавы, титан и т.п.); сравнительно невысокая производительность процесса; ограниченность по толщине формируемого покрытия.

Предлагаемый подход позволил значительно расширить круг применяемых материалов (металлы, полупроводники, диэлектрики). Возможно предположить следующий процесс формирования покрытий по данному методологическому подходу: частицы порошка попадая в межэлектродный рабочий зазор, вызывают возрастание напряженности электрического поля до величины большей, чем диэлектрическая прочность промежутка, в результате чего происходит инициирование разряда емкости искрового генератора. Под действием энергии, выделяемой в канале искрового разряда, твердая частица порошка в зависимости от параметров разряда, массы самой частицы и ее теплофизических свойств частично или полностью переходит в жидкую или парообразную фазы и наносится на обрабатываемую поверхность. Вследствие закорачивания канала разряда искрового промежутка, напряжение постоянного электрического поля падает почти до нуля, а за тем после деионизации искрового промежутка принимает прежнее значение, т.е. в определенном объеме происходит импульсное изменение электрического поля. Последующее попадание частицы в зону канала разряда вновь вызывает низковольтный сильноточный импульс. Следует отметить, что попадание даже одной частицы в межэлектродный зазор, при достаточной величине напряженности наложенного на промежуток электрического поля, приводит к инициированию сильноточного разряда, что дает возможность избирательного воздействия на отдельную частицу высокими температурами и ударными волнами, возникающими при искровом разряде. Высоковольтный поджиг рабочего промежутка, происходящий при попадании частиц порошка в межэлектродный зазор, способствует выделению в канале разряда более высокой мгновенной тепловой мощности по сравнению с разрядом без поджига. Таким образом данный технологический подход является достаточно перспективным для формирования электроискровых покрытий.

Для определения оптимального режима, при котором максимальное количество порошка могло попасть в зону действия разряда, частота вибрации обрабатываемого электрода медленно варьировалась от 100 до 30 Гц. В качестве источников импульсных разрядов использовались как промышленные, так и экспериментальные установки. Процесс ЭИЛ проводили в диапазоне значений энергии разряда от 0,3 до 10,0 Дж. В ходе проведенных исследований было изучено изменение массы катода модифицируемого материала при нанесении покрытий из порошка карбида вольфрама (рисунок 1).

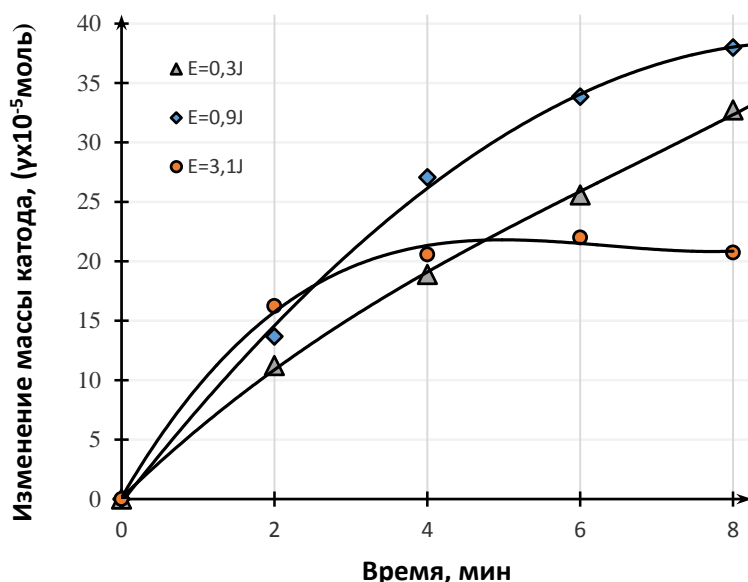
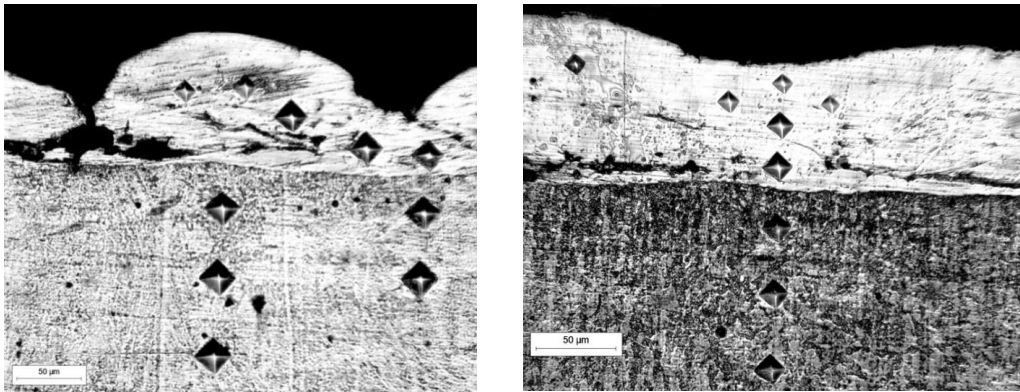


Рисунок 1 – Влияние энергии электрических импульсных разрядов на формирование покрытия на поверхности катода из углеродистой стали С45 в ЭИЛ с компактным электродом из W и порошком WC

Как видно из рисунка 1, при всех значениях энергии разряда на катоде осаждалось практически одинаковое количество материала, что не укладывается в известное соотношение $\gamma=f(E)$, в котором установлено, что массоперенос анода на поверхность катода прямо пропорционален величине энергии импульсного разряда. На наш взгляд, этот результат может иметь два объяснения. Введение порошка карбида вольфрама в зазор в процессе ЭИЛ существенно меняет механизм формирования упрочненного слоя на катоде. Анод больше не играет основной роли подачи эродированного материала на поверхность катода. Эта роль в основном принадлежит порошковому материалу. Введение порошка карбида вольфрама в зазор приводит к существенной модификации механизма образования покрытия и свидетельствует о том, что установленные ранее критерии (по толщине, скорости осаждения и т.п.) справедливы только для случая компактного анода.

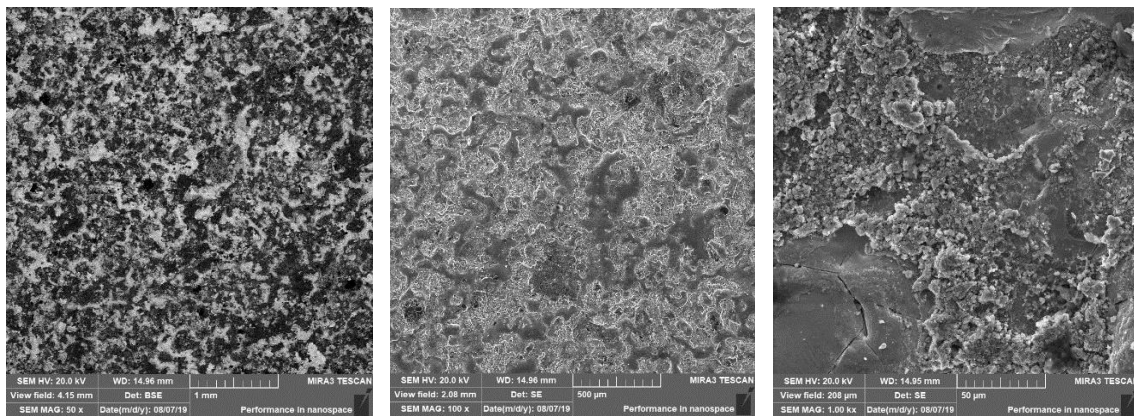
Интерес представляют исследования многокомпонентных соединений сверхтвёрдых материалов. На рисунке 2 представлены микрошлифы с покрытием TiAlC. Данный класс покрытий получен при последовательной обработке стали С45 титановыми, алюминиевыми и графитовыми электродами в режиме колебаний электродов и изменении значения энергии разряда в пределах (0,3÷3,0) Дж.



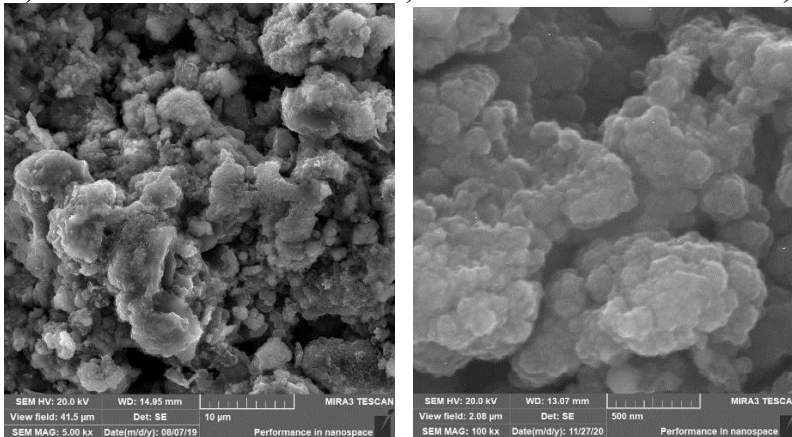
а) б)

Рисунок 2 – Микроструктура образцов С45 с покрытиями TiAlC, полученная при последовательной обработке Ti, Al и графитовыми электродами в режиме вибрации электрода (а) и вращения проволочных электродов в плоскости, перпендикулярной поверхности катода (б)

Анализ шлифов с покрытиями показал, что, независимо от величины электрических импульсов, которыми проводилась обработка, сформированные слои отличаются сплошностью и малой однородностью (рисунок 2, а), в то время как при обработке в одном и том же энергетическом режиме аппликатором в форме «шелковицы», получены равномерные покрытия по толщине и высокой сплошности (рисунок 2, б).



а) б) в)



г) д)

Рисунок 3 – Морфология покрытий TiAlC, полученных при различных разрешениях растровой электронной микроскопии

Методом растровой электронной микроскопии изучена морфология покрытий TiAlC, формируемых по предлагаемой технологии (рисунок 3).

Согласно полученных данных формируется покрытие с морфологией на подобие «шагреновой кожи». По сравнению с покрытиями, получаемыми по стандартной технологии электроискрового легирования, в формируемых покрытиях наблюдается меньшее количество дефектов, пор. В исследуемых покрытиях формируются структуры нанометрового размера, что может свидетельствовать о процессах наноструктурирования в покрытиях, получаемых методом совмещения в межэлектродном промежутке низковольтных сильноточные импульсов и налагаемого сильного электрического поля (рисунок 3, д).

Работа выполнена в рамках проекта T22МЛДГ-004.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Овчинников, Е. В. Технология синтеза наноструктур при электроискровом легировании / Е. В. Овчинников, В. В. Михайлов, Н. М. Чекан // Актуальные проблемы прочности: монография; под редакцией В. В. Рубаника. – Молодечно, 2020. – С. 345–358.

2 Михайлов, В. В. Нанокпозиционные покрытия, формируемые методом ЭИЛ / В. В. Михайлов, Е. В. Овчинников / Инновационные технологии машиностроения в транспортном комплексе: материалы XI Международной научно-технической конференции ассоциации технологов-машиностроителей. – Калининград: «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта», 2020.– С. 186–195.

3 Физико-механические характеристики нанокпозиционных покрытий, формируемых методом электроискрового легирования / В. В. Михайлов [и др.] // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. Сер 6, Тэхніка. – 2019. – Т.9. – № 2. – С.45–53.

4 Zamulaeva, E.I., Levasov, E.A., Kudreasov, A.E., Vacaev, P.V., Petrzhik, M.I. Electrospark coatings deposited onto an Armco iron substrate microstructured WC-Co electrodes: Deposition process, structure, and properties. Surface and Coatings Technology. – 2008, – V. 202. –p. 249.

5 Михайлов, В. В. Исследование особенностей электроискрового легирования титана и его сплавов: автореф. дис. канд. техн. наук. – Киев, 1977. – 19 с.