УДК 620.193:621.9.048.4

ГРАФЕНСОДЕРЖАЩИЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

А. Е. ОВЧИННИКОВ[1], А. Ч. СВИСТУН[1], А. А. ВОЗНЯКОВСКИЙ[2], Е. И. ЭЙСЫМОНТ[1], Н. Н. КЕТРИК[1], А. А. САВИЦКИЙ[1]
[1]Гродненский государственный университет имени Янки Купалы
Гродно, Беларусь
[2]Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН
Санкт-Петербург, Россия

Электроискровое легирование – эффективный метод локального поверхностного модифицирования материалов. Высокая локализация энергетического воздействия, возможность формирования металлургически связанных покрытий и сравнительно малое тепловое влияние на основу позволяют применять этот метод для повышения эксплуатационных свойств деталей [1]. Перспективным направлением является использование углеродных наноматериалов, в частности графена, способного изменять процессы массопереноса, кристаллизации и упрочнения поверхностного слоя [2].

Цель работы – установить влияние энергетических параметров электроискрового воздействия на морфологию, шероховатость и структурное состояние сформированных поверхностных слоев, а также оценить влияние графеновой добавки на их физико-механические характеристики.

В качестве материалов исследования использовали технически чистый алюминий А0 и деформируемый алюминиевый сплав Д16Т. Перед обработкой поверхность механически подготавливали и обезжиривали. Электроискровую обработку проводили на установке UR-121 при режимах Turbo 1, Turbo 3 и Norma 3, отличающихся энергией единичного импульса; максимальная энергия разряда достигала порядка 9 Дж. Для получения графенсодержащих покрытий на поверхность субстрата предварительно наносили слой малослойного графена, после чего проводили обработку графитовым электродом. Состояние поверхности оценивали по параметрам шероховатости, морфологию исследовали методом растровой электронной микроскопии, фазово-структурное состояние – методом рентгеноструктурного анализа.

Установлено, что увеличение энергии электрического разряда приводит к интенсификации массопереноса и увеличению объема локально расплавленного материала. При переходе от режима Turbo 1 к Turbo 3 и Norma 3 формируются более толстые покрытия с более развитым микрорельефом. При минимальной энергии разряда поверхность характеризуется сравнительно равномерным распределением продуктов кристаллизации и меньшей выраженностью микронеровностей. Повышение энергии сопровождается увеличением размеров отдельных кратеров, наплывов и участков повторной кристаллизации.

Анализ шероховатости показал, что электроискровое легирование графитовым электродом сопровождается увеличением параметров микрорельефа. При

повышении энергии разряда значения параметров шероховатости возрастают в среднем в 1,2–1,3 раза. Для сплава Д16Т данный эффект выражен сильнее, чем для технически чистого алюминия. Введение малослойного графена в зону обработки приводит к снижению шероховатости сформированных покрытий при сохранении общей зависимости параметров поверхности от энергии разряда. Полученная закономерность может быть связана с изменением условий теплопереноса и кристаллизации в зоне воздействия.

Результаты растровой электронной микроскопии показали, что морфология покрытий существенно зависит от энергетического режима. Для режима Turbo 1 характерна наиболее сглаженная топография с относительно небольшими размерами микронеровностей. При увеличении энергии до режимов Turbo 3 и Norma 3 поверхность приобретает более выраженный рельеф, включающий кратеры, наплывы и участки повторной кристаллизации.

Рентгеноструктурный анализ свидетельствует об изменении структурного состояния поверхностного слоя после электроискровой обработки. С увеличением энергии разряда наблюдается уменьшение размеров областей когерентного рассеяния, что объясняется измельчением структуры в условиях высокоскоростной кристаллизации. Одновременно отмечено увеличение степени кристалличности поверхностного слоя. Совокупность этих изменений отражает существенное влияние высокоэнергетического импульсного воздействия на процессы структурообразования.

Применение малослойного графена повышает микротвёрдость модифицированных поверхностных слоев. По результатам исследования увеличение значений микротвёрдости оценивается в 1,3–3 раза в зависимости от толщины покрытия.

Таким образом, сочетание графитового электрода и малослойного графена позволяет формировать на алюминии и сплаве Д16Т модифицированные поверхностные слои с изменёнными морфологией, структурным состоянием, шероховатостью и повышенной микротвёрдостью. Энергия единичного электрического импульса определяет интенсивность массопереноса, степень развития микрорельефа и особенности структурообразования, тогда как введение графена способствует снижению шероховатости и повышению твёрдости покрытия. Практический интерес представляет дальнейшая оптимизация энергетических режимов с учётом необходимости одновременно обеспечить требуемые толщину, микротвёрдость и качество поверхности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Овчинников, Е. В.** Электроискровые покрытия: структура, свойства, технология формирования / Е. В. Овчинников. – Гродно : ГрГУ им. Янки Купалы, 2022. – 254 с.

2. Физико-механические характеристики нанокомпозиционных покрытий, формируемых методом электроискрового легирования / В. В. Михайлов, Е. В. Овчинников, Е. И. Эйсымонт [и др.] // Вестник Гродненского государственного университета имени Янки Купалы. Серия 6. Техника. – 2019. – Т. 9, № 2. – С. 45–53.