

**А. П. Пономарев**

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова,

г. Магнитогорск

*antonpon@mail.ru*

Научный руководитель – доц., д-р техн. наук *В. Л. Стеблянко*

## **ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНАЯ ОБРАБОТКА КАК МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ ВЫСОКОГО КАЧЕСТВА**

### **АННОТАЦИЯ**

В работе раскрыты принципиальные достоинства способа плазменно-электролитного формирования покрытий, характеризующие его как перспективную высокоэффективную технологию. Показано, что эти достоинства обеспечиваются комплексным характером воздействия электроразрядной плазмы на металлическую поверхность при обработке.

*Ключевые слова:* покрытия, плазменно-электролитная обработка.

### **ABSTRACT**

The research presents the principal advantages of the method of plasma-electrolytic coating that characterize it as a highly promising technology. It is shown that these advantages are provided by the integrated nature of electric discharge plasma impact on metal surface under treatment.

*Key words:* coatings, plasma-electrolytic treatment.

Одним из наиболее распространённых и эффективных способов защиты металлоизделий от коррозии является нанесение на их поверхности защитных покрытий, которые способствуют повышению срока эксплуатации металлопродукции. В современной промышленности существует большое разнообразие способов формирования покрытий. В связи с этим становится актуальным вопрос выбора наилучшего способа для конкретного производства. Среди многообразных способов нанесения покрытий, очевидно, наиболее эффективными являются способы, отвечающие, в частности, требованиям получения покрытий, выполняющими свою защитную функцию на высоком уровне в течение длительного времени в разных условиях эксплуатации, а также универсальности способа, т. е. возможности его использования для получения покрытий из различных металлов, экологической безопасности, высокой производительности, компактности технологических агрегатов для реализации способа, экономии электроэнергии и других видов ресурсов. Практически полностью сформулированным требованиям

отвечают процессы плазменно-электролитной обработки поверхности металлоизделий.

Проведенные в лаборатории слоистых композитов и покрытий МГТУ им. Носова исследования показывают более высокий уровень эксплуатационных свойств обработанных плазменно-электролитным изделий по сравнению с другими известными технологиями, применяемыми в широкомасштабном производстве. Так, в работе [2] показаны преимущества по коррозионным, адгезионным, механическим показателям стальной ленты с цинковым плазменно-электролитным покрытием в сравнении с традиционными способами нанесения покрытия: горячим и гальваническим.

Высокие эксплуатационные свойства покрытий, формируемых плазменно-электролитным способом, находят подтверждение в работах ряда других авторов [2–5]. В работе [2] отмечено, в частности, что прочность соединения цинкового и алюмоцинкового покрытий, сформированных плазменно-электролитным способом, со стальной основой составляет более 70 МПа. В других испытаниях авторами было установлено, что не происходит отслоения покрытия от основы, а разрушение материала покрытия наблюдается в его поверхностном слое. Измерения на поперечных шлифах образцов показали повышенные значения микротвердости цинкового покрытия, существенно большие, чем у чистого цинка, что говорит о высокой плотности формируемых покрытий. Исследования, приведенные в работе [3], также указывают на высокие адгезионные показатели цинковых и цинконикелевых плазменно-электролитных покрытий. Авторы отмечают, что покрытия характеризуются повышенной шероховатостью и однородной структурой с равномерно распределенными шаровидными зернами. В работе [4] показано применение плазменно-электролитной технологии для нанесения молибденовых покрытий, обладающих большой твердостью и развитой микрогеометрией поверхности. В работе [5] описано плазменно-электролитное формирование никелевого покрытия на поверхности стальной проволоки диаметром 2,59 мм, в результате которого было получено покрытие толщиной 18 мкм. При испытании его на износ определена скорость износа покрытия, которая оказалась в 1000 раз ниже, чем у никеля, не подвергнутого плазменно-электролитному модифицированию. Такой результат свидетельствует о том, что получено плотное покрытие с прочной связью элементов в его структуре. Приведенные результаты в достаточной мере характеризуют большие потенциальные возможности плазменно-электролитного способа обработки металлических поверхностей.

Свойства плазменно-электролитного покрытия во многом можно объяснить тем, что в процессе его формирования происходит сварка давлением частиц покрытия с металлом-основой. Такие представления о

природе формирования плазменно-электролитных покрытий с позиции современной топохимической теории сварки давлением позволяют рассматривать процесс формирования покрытия как многостадийный. Отсюда следует, что для образования прочного соединения между покрытием и основой необходимо, чтобы время плазменно-электролитного воздействия было больше времени, требующегося на сближение атомов, образование активных центров, в объёме которых состояние атомов при температуре ниже температуры плавления эквивалентно состоянию атомов при температуре плавления, и объёмное взаимодействие.

В процессе плазменно-электролитной обработки на поверхности металла-основы образуются активные центры за счёт энергии активации их образования  $\Delta G_S$ , сообщаемой металлу в результате очистки и локального нагрева в местах контакта микродуг с поверхностью основы ( $\Delta G_{оч+н}$ ) (рис. 1). Эти процессы происходят практически мгновенно, поэтому образование активных центров начинается сразу с момента начала плазменно-электролитной обработки. Однако оттеснение слоя электролита от полости, образующейся на поверхности металла-основы в результате удара микродуги, и последующее поступление электролита в эту зону приводит к снижению температуры на этом участке, а следовательно, и сообщённой энергии на величину  $\Delta G_{охл}$ :

$$\Delta G_{охл} = G_T - G_S,$$

где  $G_T$  – свободная энергия Гиббса при температуре  $T$ ;

$G_S$  – свободная энергия Гиббса при температуре плавления  $T_S$ .

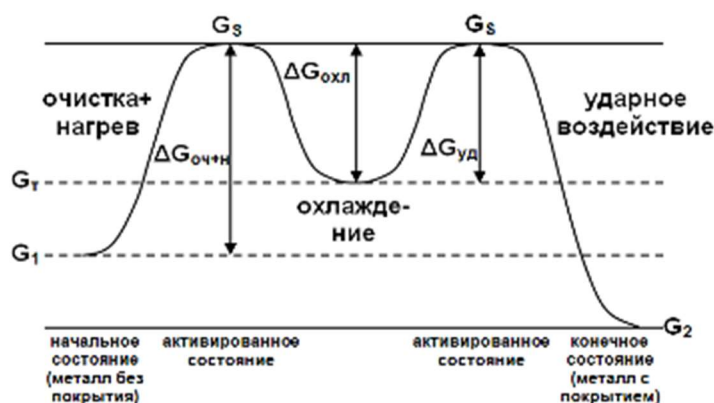


Рис. 1. Изменение энергии Гиббса металла в ходе плазменно-электролитной обработки

Эта потеря компенсируется при схлопывании полости за счёт энергии ударной волны ( $\Delta G_{уд}$ ), позволяющей достичь требуемого энергетического состояния, что обеспечивает сварку давлением металла покрытия с основой в данном активном центре. При множественном воздействии микродуговых разрядов формируется прочное соединение покрытия с основой.

Отмеченные особенности плазменно-электролитной обработки в сочетании с полученными результатами указывают на возможность формирования функциональных металлических покрытий со свойствами, не достижимыми при применении других технологий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Стеблянко В. Л. Улучшение эксплуатационных свойств цинкового покрытия на основе формирования особенностей его структуры при плазменно-электролитной обработке поверхности / В. Л. Стеблянко, А. П. Пономарев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. – 2012. – № 3. – С. 37–41.
2. Electrolytic plasma processing for cleaning and metal-coating of steel surfaces / Meletis E. I., Nie X., Wang F., Jiang J. C. // Surface and coatings technology. – 2002. – Vol. 150. – P. 246–256.
3. Gupta P. Surface modification of brass-coated steel cord by electro plasma technology / Gupta P., Tenhundfeld G., Daigle E. O. // Wire journal international. – 2005. – Vol. 38. –P. 50–56.
4. Gupta P. Synthesis and characterization of hard metal coatings by electro-plasma technology / Gupta P., Tenhundfeld G., Daigle E. O., Schilling P. J. // Surface and coatings technology. – 2005. – Vol. 200. – P. 1587–1594.
5. Andrews E. H. Benefits of the electro-plasma process / E. H. Andrews, C. C. Popov, E. O. Daigle // Wire and cable technology international. – 2001. – P. 54–56.