# СТРОИТЕЛЬСТВО. ТРАНСПОРТ
*****
# CONSTRUCTION. TRANSPORTATION

УДК 691.327, 621.793.7

## ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ КАК МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

## APPLICATION OF ARC SPRAYING FOR PROTECTION OF CONCRETE STRUCTURES

**Зайцев Сергей Викторович**
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
Белгородский государственный технологический институт им. В.Г. Шухова
sergey-za@mail.ru

**Подгорный Даниил Сергеевич**
младший научный сотрудник,
Белгородский государственный технологический институт им. В.Г. Шухова

**Чуриков Антон Сергеевич**
инженер-исследователь,
Белгородский государственный технологический институт им. В.Г. Шухова

**Прохоренков Дмитрий Станиславович**
инженер-исследователь,
Белгородский государственный технологический институт им. В.Г. Шухова

**Аннотация.** В работе исследована возможность применения электродугового напыления для нанесения защитного покрытия Zn-Al на бетонной поверхности. Экспериментально подтверждена стабильность процесса осаждения, выражающаяся в линейной корреляции между продолжительностью напыления и толщиной покрытия. Установленная закономерность позволяет прогнозирования толщину покрытия от конфигурации и совершенствования технологических режимов нанесения на строительные конструкции.

**Ключевые слова**: электродуговая металлизация, покрытие Zn-Al, бетон, толщина покрытия.

**Zaitsev Sergey Viktorovich**
Candidate of Technical Sciences,
Senior Researcher,
Belgorod State Technological University named After V.G. Shukhov
sergey-za@mail.ru

**Podgornyi Daniil Sergeevich**
Junior Researcher,
Belgorod State Technological University named After V.G. Shukhov

**Churikov Anton Sergeyevich**
Research Engineer,
Belgorod State Technological University named After V.G. Shukhov

**Prokhorenkov Dmitry Stanislavovich**
Research Engineer,
Belgorod State Technological University named After V.G. Shukhov

**Annotation.** The paper investigates the possibility of using electric arc spraying to apply a Zn-Al protective coating on a concrete surface. The stability of the deposition process was experimentally confirmed, demonstrated by a linear correlation between the spraying duration and the coating thickness. The established pattern enables the prediction of coating thickness based on configuration and the improvement of technological application modes for building structures.

**Keywords**: electric arc spraying, Zn-Al coating, concrete, coating thickness.

***Работа выполнена в рамках реализации государственного задания Минобрнауки РФ № FZWN-2026-0005 с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.***

Долговечность и эксплуатационная надежность бетонных сооружений в условиях агрессивного воздействия окружающей среды является одной из основных направлений строительной отрасли. Воздействие влаги, химических и биологических внешних и внутренних факторов инициирует разрушительные процессы, как в цементном камне, так и в стальной арматуре, поэтому поиск эффективных барьерных технологий является важнейшей задачей [1].

Метод термического дугового напыления, успешно зарекомендовавший себя в нефтегазовом секторе для защиты металла, в последние десятилетия находит применение и для бетонных оснований. Технология заключается в плавлении металлической проволоки (цинк, алюминий или их комбинации) электрической дугой с температурой до 5000 °С с последующим переносом расплавленных частиц воздушной струей на обрабатываемую плоскость, что позволяет сформировать износо- и коррозионностойкие покрытия [2, 3]. Эффективность подобной защиты подтверждена зарубежной практикой. Например, при реконструкции моста Сан-Луис-Пасс в Техасе наносили дуговое напыление на бетонные конструкции [3]. Нанесенное покрытие выполняло функцию механического барьера, но и катодной защиты, что существенно продлило ресурс сооружения в условиях морского климата.

Адгезия покрытия с бетоном, в отличие от металлических поверхностей, определяется преимущественно механическим сцеплением, зависящее от рельефа и шероховатости поверхности [4]. Поэтому основное влияние на пористость и адгезию покрытия оказывает подготовка основания, выбор материала проволоки и режимы напыления. Помимо антикоррозионной защиты, современные исследования указывают на потенциал таких покрытий для экранирования электромагнитных полей [5], что особенно важно для объектов инфраструктуры.

Целью данной работы является экспериментальное установление зависимости толщины покрытия Zn-Al, наносимого на бетонную поверхность, от времени напыления. В ходе исследования предполагается отработать базовые технологические режимы процесса и представить полученную зависимость в графическом виде для последующего анализа.

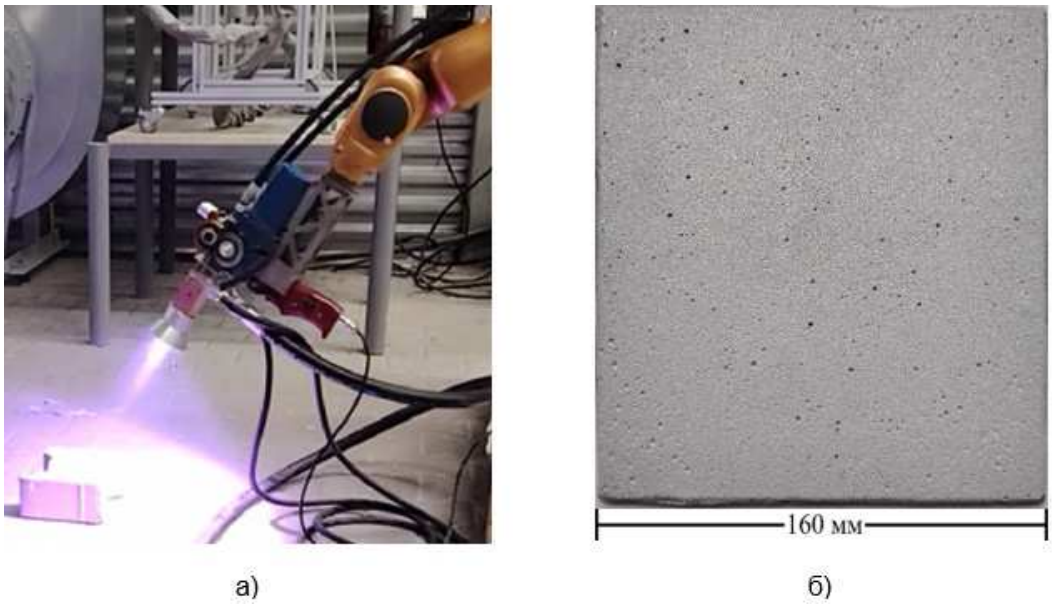


**Рисунок 1** – Процесс электродугового напыления (а)
и внешний вид поверхности покрытия Zn-Al (б) на бетоне

Нанесение покрытия из проволоки марки Zn85Al диаметр 1,6 мм и состав: 85 % Zn, 15 % Al осуществляли методом электродуговой металлизации на установке KZ-600. Процесс нанесения представлен на рисунке 1 а. Использование роботизированной руки с распылителем обеспечило равномерность нанесения на бетонный образц. Параметры процесса: напряжение дуги – 20 В, ток – 80 А, дистанция напыления – 200 мм, давление сжатого воздуха – 0,6 МПа. Начальная температура подложки составляла 28 °С.

В ходе эксперимента варьировалась длительность напыления для получения покрытия различной толщины. Визуальный осмотр полученного покрытия (рис. 1 б) показал наличие однородной шероховатой структуры, характерной для данного метода. Цвет покрытия равномерный серый, видимых дефектов не обнаружено.

Анализ полученных данных (рис. 2) указывает на линейный характер зависимости толщины покрытия от времени нанесения. Выявленная прямо пропорциональная связь подтверждает, что скорость роста покрытия Zn-Al остается постоянной на всем протяжении эксперимента. Поэтому, стабильная скорость нанесения покрытия позволяет заранее определять геометрию защитного покрытия под заданную длительность процесса.

**Рисунок 2** – Зависимость толщины покрытия от времени процесса напыления

**Выводы**

Экспериментально подтверждена принципиальная возможность нанесения равномерных защитных покрытий Zn-Al на бетонных поверхностях методом электродуговой металлизации.

При фиксированных технологических параметрах установлена устойчивая линейная зависимость толщины покрытия от времени напыления. Данная корреляция позволяет с высокой точностью прогнозировать толщину покрытия в зависимости от длительности технологического цикла.

Нанесенное покрытие Zn-Al на поверхности бетона характеризуются однородной структурой и отсутствием внешних дефектов.

Полученные закономерности могут служить основой для дальнейшей оптимизации режимов нанесения, а также для углубленного исследования физико-механических и защитных характеристик покрытий в зависимости от их толщины и компонентного состава.

**Список литературы:**

1. Тур Э.А. К вопросу о защите от коррозии объектов водохозяйственного строительства / Э.А. Тур, С.В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2(120). – С. 75–79.
2. Thermal Arc Spray Overview / M.H.A. Malek [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2013. – Vol. 46. – Art. 012028. – DOI: 10.1088/1757-899X/46/1/012028
3. Evaluation of electrochemical impedance properties of anticorrosion films by arc thermal metal spraying method / H.B. Choe [et al.] // International Journal of Electrochemical Science. – 2015. – Vol. 10. – № 11. – P. 9775–9789.
4. Legoux J.G. Adhesion mechanisms of arc-sprayed zinc on concrete / J.G. Legoux, S. Dallaire // Journal of Thermal Spray Technology. – 1995. – Vol. 4. – № 4. – P. 395–400.
5. Electromagnetic shielding performance of carbon black mixed concrete with Zn–Al metal thermal spray coating / H.S. Lee [et al.] // Materials. – 2020. – Vol. 13 – № 4. – P. 895. – DOI: 10.3390/ma13040895

**List of references:**

1. Tur E.A. On the issue of corrosion protection of water management construction facilities / E.A. Tur, S.V. Basov // Bulletin of Brest State Technical University. Series: Water Management Construction, Thermal Power Engineering and Geoecology. – 2020. – № 2(120). – P. 75–79.
2. Thermal Arc Spray Overview / M.H.A. Malek [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2013. – Vol. 46. – Art. 012028. DOI: 10.1088/1757-899X/46/1/012028
3. Evaluation of electrochemical impedance properties of anticorrosion films by arc thermal metal spraying method / H.B. Choe [et al.] // International Journal of Electrochemical Science. – 2015. – Vol. 10. – № 11. – P. 9775–9789.
4. Legoux J.G. Adhesion mechanisms of arc-sprayed zinc on concrete / J.G. Legoux, S. Dallaire // Journal of Thermal Spray Technology. – 1995. – Vol. 4. – № 4. – P. 395–400.
5. Electromagnetic shielding performance of carbon black mixed concrete with Zn–Al metal thermal spray coating / H.S. Lee [et al.] // Materials. – 2020. – Vol. 13. – № 4. – P. 895. DOI: 10.3390/ma13040895