

**ПЕРЕХОД ОТ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ
К ГАЗОТЕРМИЧЕСКИМ ТЕХНОЛОГИЯМ
ПРИ ПОЛУЧЕНИИ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

А. В. ДУДАН

Полоцкий государственный университет, Беларусь;

М. С. АГЕЕВ

Херсонская государственная морская академия, Украина;

Л. А. ЛОПАТА

*Институт проблем прочности им. Г.С. Писаренко НАН Украины,
Украина;*

Е. К. СОЛОВЫХ, Т. В. ВОРОНА

*Центральноукраинский национальный технический университет,
Украина*

Рассмотрен гальванический способ защиты деталей машин и конструкций от коррозии. Обоснована целесообразность замены гальванической технологии при получении коррозионностойких покрытий на методы газотермического напыления.

Состояние проблемы. Металлы под влиянием окружающей среды (воздуха, воды) стремятся перейти в окислы, или в присутствии солей, щелочей, кислот – в солевые соединения. Этот процесс разрушения металлов (коррозия) имеет химическую или электрохимическую природу. Решающим для стойкости металла являются его механические и поверхностные свойства., которые можно обеспечить защитными коррозионностойкими покрытиями. В настоящее время в производстве широко применяются для нанесения коррозионностойких покрытий гальваническое цинкование, несмотря на самую высокую стоимость очистки сточных вод (СОСВ). Способ гальванического цинкования оказывается неперспективным как водо- и энергоемкий. Технология гальванических покрытий представляет пример технологического тупика. Развитие этой технологии требует повышенных затрат, а прибыль при этом не возрастает или растет крайне слабо. Повышения прочности и износостойкости гальванических покрытий добиваются многочисленными вспомогательными операциями. Осаждение покрытия проводят при постоянном и периодическом токе с прямым и обратным регулированием импульсов. Наводораживание в электролите сердцевины детали приводит к снижению предела выносливости. Это

снижение может достигать 50% от исходной прочности детали. В связи с этим вынуждены применять вспомогательную операцию дегазирующего отжига. Для повышения прочности и износостойкости гальванических покрытий применяют комбинированные и многооперационные виды обработки, в том числе лазерным лучом, азотированием, цементацией и др. Прочность деталей повышают применением композиционных электролитических покрытий (КЭП) с введением в электролит диспергированных добавок порошковых частиц, а также волокон и ультрадисперсных алмазов. Как правило, применяется диффузионный отжиг. Равномерность распределения неметаллических частиц дисперсоида (тонких отдельных частиц относительно нерастворимых компонентов, находящихся в микроструктуре некоторых металлических сплавов) в КЭП зависит от перемешивания электролита и размера частиц. Для обеспечения качества КЭП необходима вспомогательная операция взбалтывания электролита, предотвращающая седиментацию частиц. Необходимость горизонтального расположения катода накладывает ограничения на форму упрочняемой детали. Однако, наиболее четко определился технический тупик гальванической технологии в связи с повышенным потреблением воды и загрязнением ее токсичными отходами. «Водоемкость» становится самостоятельной характеристикой любого современного технологического процесса наряду с таким традиционным и обязательным, как энергоемкость. Электролитические процессы по расходу воды, ее загрязнению, токсичности и необходимости очистки сточных вод среди способов поверхностного упрочнения не имеют себе равных. Существенно снижает прибыль необходимость проектирования и использования сооружений для очистки технологической воды и утилизации концентрированных токсичных отходов. Развитие и применение гальванических технологий ограничено природоохранными службами. Радикальная смена ключевой операции применительно к гальваническим покрытиям осуществляется переходом на безводные, сухие технологии нанесения покрытий газовым методом. Особенно успешно реализуют переход от гальванической технологии к газотермическим технологиям.

Цель работы: обоснование целесообразности замены гальванической технологии при получения коррозионностойких покрытий на методы газотермического напыления (ГТН).

Полученные результаты. Коррозионностойкие покрытия можно получать методами ГТН – распылением порошковых, проволоочных, стержневых или шнуровых материалов газопламенным (ГПН), электродуговым (ЭДН), плазменным, сверхзвуковым, динамическим холодным напылением.

Газотермическое напыление цинка или цинковая металлизация – это специальный технологический процесс, позволяющий наносить на металлоконструкции надежные защитные антикоррозийные слои из алюминия, цинка или других стойких металлов, не подвергающихся разрушению. Процесс заключается в том, что покрываемая поверхность и наносимый защитный слой обеспечивают максимальное присоединение защитного слоя и полную его непроницаемость для влаги и кислорода. При этом имеет место эффект самовосстановления газотермического покрытия в случае его механического повреждения. При ГТН покрытие можно наносить не только в закрытом помещении, но и на открытой местности. Достоинством предлагаемого способа получения покрытий является экономия исходного, зачастую дорогостоящего сырья и энергетических ресурсов. Используя технологии ГТН можно получить покрытия различной толщины и структуры, создать надежную защиту от коррозии, кавитации, эрозии.

В результате исследований был дан анализ методов антикоррозионной защиты, в частности, гальванического цинкования (1) и ЭДН цинковой проволоки (2), которые были опробованы в лабораторных, полупроизводственных и производственных условиях. Стоимость нанесения покрытия была рассчитана, исходя из использованного оборудования, материалов и существующих расценок на зарплату, оборудование, производственные площади, ресурсы, нормы амортизации по действующим нормативным документам и методикам. Способы нанесения покрытий сравнивали по приведенным затратам (ПЗ):

$$ПЗ = СС + 0,15КЗ,$$

где СС – себестоимость нанесения покрытия; КЗ – капитальные затраты, состоящее из стоимости оборудования и производственных площадей.

По своей структуре СС состоит из затрат на технологию (ТЗ) и ресурсозатрат (РЗ). Технологические затраты (ТЗ) состоят из заработной платы (ЗЗ), амортизационных отчислений на оборудование (ЗО) и стоимости производственной площади (ЗП). Превышение ТЗ над РЗ - вода, электроэнергия, материалы - означает повышение квалификации персонала, уровня технологии и использования ресурсов.

Сравнение способов нанесения коррозионностойких покрытий по затратам на электроэнергию и расходуемую воду приведено на рисунке 1.

Сравнение способов нанесения покрытий по ТЗ приведено на рисунке 2: затраты на ЗП (рис. 2, а), на ЗО (рис. 2, б) и ЗП (рис. 2, в).

Приведенные затраты показаны на рисунке 3. Для технологии 1 выделены показатели стоимости очистки сточных вод (СОСВ).

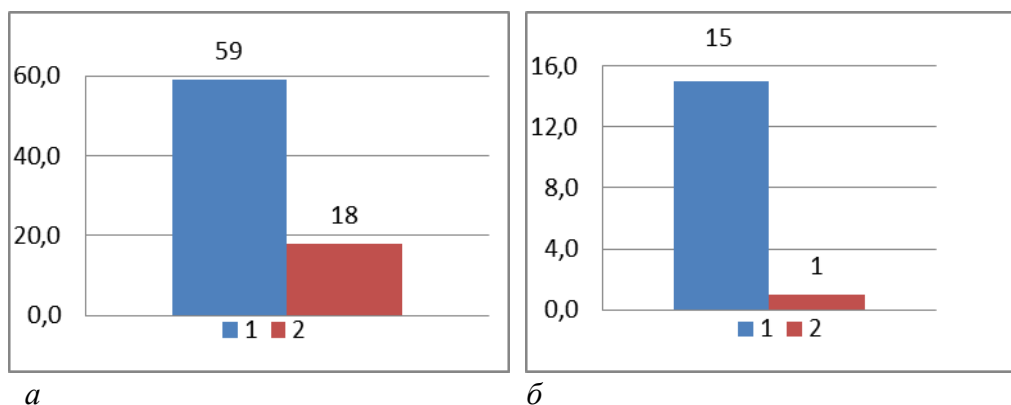


Рис. 1. Затраты на электроэнергию (а) и расходуемую воду (б) для различных способов нанесения покрытий: 1 – гальванические покрытия; 2 – газотермические покрытия

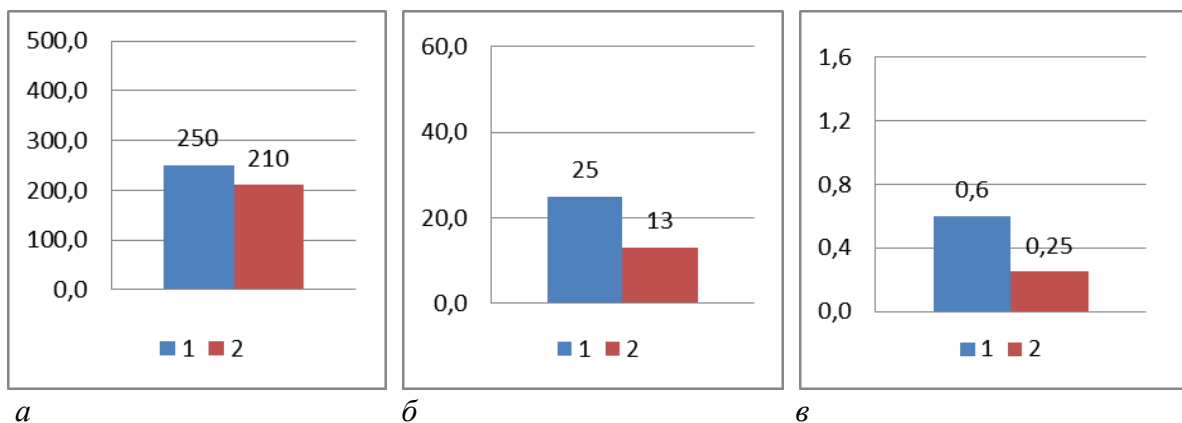


Рис. 2. Затраты на ЗП (а), ЗО (б) и ЗП (в) для различных способов нанесения покрытий: 1 – гальванические покрытия; 2 – ГТН-покрытия

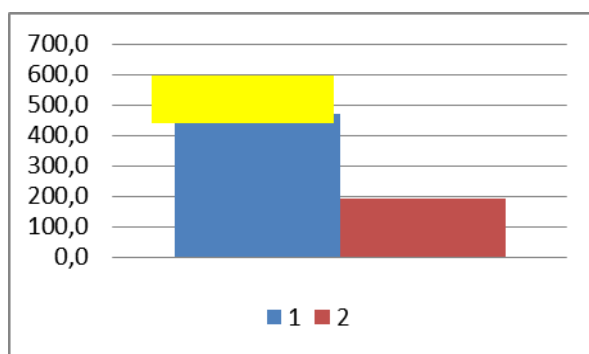


Рис. 3. Приведенные затраты для различных способов нанесения покрытий: 1 – гальванические покрытия; 2 – газотермические покрытия

Наиболее экономичными по затратам является такая технология газотермического напыления, как электродугового напыления. Преимущества ЭДН:

- деталь нагревается незначительно, не происходят изменения структуры и коробление;
- применение способов не сильно зависит от размеров и конструкции деталей;
- при нанесении образуются мелкозернистые равномерные покрытия;
- толщиной от десятых долей до нескольких миллиметров из одного или нескольких материалов (в том числе из псевдосплавов).

ЭДН наносят покрытия из цинка, алюминия и их сплавов на: металлоконструкции, которые используются в строительстве зданий, мостов; на трубы, предназначенные для эксплуатации длительный период в грунте; высотные и подземные конструкции, гидротехнические сооружения при воздействии материковой и морской атмосферы.

Для защиты крупногабаритных металлоконструкций от коррозии и коррозионного растрескивания применяется метод электродуговой металлизации (HVOF Arc Spraying) – напыление на поверхность металла, подлежащего защите, другого металла с лучшими коррозионными свойствами, например, цинка, алюминия или их псевдосплавов.

При предлагаемом способе напыления методом HVOF Arc Spraying (активированной электродуговой металлизации) могут быть получены покрытия из чистого цинка (> 99,9%) благодаря тому, что не происходит химического взаимодействия между материалом детали и покрытия. Толщина цинкового покрытия от 60 до 300 мкм.

Нанесение антикоррозионных покрытий на металлические конструкции HVOF Arc Spraying (электродуговой металлизацией) по сравнению с гальваническими покрытиями и горячим цинкованием имеет ряд преимуществ:

- подготовка поверхности осуществляется лишь дробе-пескоструйной обработкой по сравнению с намного более продолжительной подготовкой поверхности при горячем цинковании (обезжиривание, промывание, травление, флюсование);
- простота оборудования;
- возможность нанесения защитных покрытий от 30 до 300 мкм (при необходимости и больше);
- возможность работы в любом пространственном положении;
- при необходимости нанесение покрытий не на всю конструкцию, а на необходимый ее участок;
- значительная экономия энергетических ресурсов (электроэнергия, вода, тепло);

- существенное снижение транспортных расходов;
- экологически более чистый процесс по сравнению с гальваникой и горячим цинкованием.

Для АДМ-аппаратов (HVAF Arc 300™) могут использоваться проволоки из различных металлов – цинк, алюминий, бронза, медь, сталь, ни хром – и их сочетание. Применяются также порошковые проволоки. Достоинствами АДМ-аппаратов (HVAF Arc 300™) являются снижение окисления напыляемого материала и выгорания легирующих элементов, пористость покрытий составляет 2–4 %, плотность антикоррозионных покрытий приближается к плотности литого металла. Помимо высокого качества получаемых покрытий, к достоинствам АДМ-оборудования (HVAF Arc 300™) можно отнести малый вес и простоту в обслуживании. Это дает возможность наносить покрытия в монтажных условиях, в различных пространственных положениях.

Большая область применения ЭДН (HVAF Arc Spraying) – это нанесение антикоррозионных покрытий на резервуары для очистки питьевой воды, в судостроении и судоремонте, в газовой промышленности, для защиты от высокотемпературной коррозии труб бойлеров, работающих на твердом топливе. Технология HVAF Arc Spraying отличается высокой производительностью, низкими затратами. Вследствие особенностей процесса АДМ-покрытия устойчивее против трещинообразования при увеличенной толщине.

Себестоимость электродугового покрытия составляет не более 200–300 грн./м² или 3000–5000 грн./тонна (в зависимости от конфигурации и размеров деталей). Себестоимость гальванических покрытий составляет 1500–1700 грн./м² или 15 000 – 17 000 грн./тонна

Выводы. Лучшей альтернативой для замены классической гальваники следует признать ЭДН. Решающими факторами при выборе альтернативных способов нанесения покрытий должны служить – отношение показателей минимальных материальных затрат и экологического ущерба, максимальные характеристики прочности и долговечности детали. Замена гальванических покрытий альтернативой технологией ЭДН приводит к снижению ресурсозатрат на технологическое обеспечение нанесения упрочняющих коррозионностойких покрытий и к обеспечению роста прибыли при увеличении инвестиций в рассматриваемое направление.