

УДК 621.74

Калиниченко В.А.¹, кандидат технических наук, доцент,
заведующий лабораторией;

Андрушевич А.А.², кандидат технических наук, доцент

¹⁾ *Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

²⁾ *УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*

ФОРМИРОВАНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО СЛОЯ НА ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВАХ ДЛЯ РЕМОНТА ИЗНОШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТОДОМ ИОННОГО ОСАЖДЕНИЯ

***Аннотация.** В работе показано возможности применения метода ионного осаждения из водных растворов для восстановления изношенных рабочих поверхностей, так и создания новых рабочих поверхностей деталей с заранее заданной структурой. Данный метод характеризуется высокой гибкостью, а также возможностью формировать покрытия с различной микроструктурой, включая композиционные.*

Введение. Поверхностные свойства деталей во многом определяют работоспособность узлов, поэтому создание рабочих слоев различной толщины и структуры является важной задачей повышения надежности и ресурса работы сельскохозяйственных машин. Зачастую требуется проведение ремонта изделий без применения агрессивных электролитов, т.к. их использование связано с дорогостоящей утилизацией и проблемами, связанными с техникой безопасности. При формировании композиционного слоя на железоуглеродистых сплавах помещение электрода в электролит неизбежно сопровождается образованием ЭДС и появлением пространственного заряда. Перераспределение заряда изменяет потенциальную энергию поверхности. Это состояние реализуется помещением подложки в независимое электрическое поле. Неизбежное формирование электромагнитного поля, в свою очередь, создает ряд гальваномагнитных эффектов, в частности, позволяет управлять поляризацией электрода [1].

Основная часть. Общепринятые процессы осаждения металлов подгруппы железа и сплавов на их основе характеризуются высоким перенапряжением, интенсивным выделением водорода, который захватывается осадком, и напряженным состоянием осадков. Чтобы избежать выпадения компонентов электролита в осадок, а также образования обеднённых электролитом зон, применялась принудительная конвекция, реализуемая механическими мешалками или вращающимися деталями установки. При выборе электролита одним из обязательных условий является минимизация его компонентов. Для испытаний выбраны слабокислотные трехкомпонентные электролиты на базе солей Fe, Mn и Zn. В качестве объекта исследований выбраны железоуглеродистые сплавы. Варьируемым параметром являлась степень перемешивания электролита, влияющая на скорость осаждения. Время каждого испытания составляло 1 час, данные испытаний сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Характеристики композиционного покрытия при ионном осаждении железа

Скорость вращения мешалки, об/мин.	Толщина плёнки, мм	Примечания
32	1,5	Плёнка очень плотная, с поверхности не удаляется.
16	1,0	Плёнка очень плотная, с поверхности не удаляется.
8	1,0	Плёнка пористая, с поверхности плохо удаляемая
без перемешивания	0,9	Плёнка рыхлая, легко скалывается в виде фольги

В отличие от стандартных гальванических процессов при ионном осаждении не требуется тщательная подготовка поверхности. Активация поверхности может быть обеспечена предварительным запуском реверсивного тока, т.е. сменой полярности на детали и электроде [1]. От химического состава материала подложки зависит как процесс осаждения, так и характер необходимой предварительной обработки поверхности. При травлении высокоуглеродистых сталей и чугунов образуется большое количество шлама, содержащего графит и цементит, плохо растворимые в электролитах. Никель, хром и кремний, содержащиеся в коррозионностойких сталях, благоприятствуют пассивации поверхности, чем затрудняют процесс формирования покрытия при осаждении. Это же относится к кремнию, содержащемуся в некоторых бронзах.

Известно, что для получения 1 атома металла требуется перенос z электронов, т.е. заряда ze , а для получения 1 моля металла – соответ-

венно заряда $z \cdot N_A \cdot e = zF$ кулонов, где N_A – число Авогардо и $F = N_A e$ – число Фарадея, равное 96 485 Кл [1]. Следовательно, при прохождении электричества Q кулонов будет получена масса металла, равная:

$$m = Q \cdot A / zF$$

где A – атомная масса металла.

Данное соотношение можно выразить и как зависимость толщины h полученного слоя металла от величины плотности тока при осаждении $i = I / S$ (I – общий ток, S – вся площадь покрываемой поверхности) и τ – длительность процесса:

$$h = i \tau (V_m / zF)$$

где V_m – объём одного слоя металла.

Видно, что количество осаждённого металла пропорционально плотности тока и длительности процесса осаждения. При этом важнейшую роль играет плотность тока, которая определяет скорость процесса.

В процессе управляемого ионного осаждения обработанную поверхность можно условно разделить на три зоны: 1. материал основы, 2. промежуточный слой и 3. покрытие как таковое. При толщине покрытия достигающей нескольких миллиметров, толщина промежуточного слоя оценивается в 2–5 мкм. Однако для технологических параметров её роль весьма велика, т.к. она обеспечивает прочность сцепления покрытия с подложкой, а на технологическом уровне при её нанесении (запуске процесса) идут значительные колебания силы тока. После нанесения подложки происходит падение силы тока с 50 до 40 ампер, что требует корректировке по току.

По проведённым расчётным и экспериментальным данным, было установлено, что для нанесения качественных покрытий на стальную и чугунную основы и нормальное протекание процесса осаждения, необходимое напряжение составляет порядка 3,5–4,0 вольт, при силе тока 45–50 ампер.

Из-за разнообразия требований предъявляемых к покрытиям, в настоящее время, большой интерес представляют не монометаллические покрытия, а покрытия из сплавов и композиционные покрытия. Выбор состава легирующих элементов определяется, во-первых: требованиями, предъявляемыми к покрытиям, во-вторых: возможностью осаждения выбранных элементов в заданной композиции (правое расположение парциальных кривых) и в третьих доступностью данных элементов в виде водорастворимых солей. Для

восстановления стальных и чугуновых изделий основными элементами, входящими в состав электролита должны быть железо, марганец, никель и в качестве пластификатора цинк.

Применение композиций при покрытии изделий имеет ряд преимуществ по сравнению с осаждением чистых металлов. Во-первых, композиции зачастую обладают более высокими показателями по износостойкости. Во-вторых, скорость осаждения композиций выше скорости осаждения чистых металлов. Это может быть обусловлено, что в отличие от послойного роста металлической плёнки захват частиц упрочняющей фазы сразу увеличивает толщину наносимого покрытия на ряд слоёв.

Первоначальным объектом выбраны образцы из стали 40, на котором сформировались покрытия системы Fe-Mn-Zn. В качестве среды использовался трёхкомпонентный электролит $\text{Fe}(\text{SO}_4) + \text{Mn}(\text{SO}_4) + \text{Zn}(\text{SO}_4)$, растворённый в дистиллированной воде. Варьируемым параметром являлась сила тока от 20 до 100 А, влияющая на скорость осаждения. Время каждого испытания составляло 1 час. По истечению заданного времени обработки было получено надёжное металлическое покрытие на поверхности стальной детали.

Результаты испытаний (таблица 2) показали, что использование данного метода весьма эффективно для восстановления изделий на основе железоуглеродистых сплавов.

Таблица 2 – Характеристики покрытия при осаждении сплава в течение 1 часа

Сила тока, А	Толщина плёнки, мм	Примечания
20	0,5	Плёнка очень плотная, с поверхности не удаляется.
40	1,0	Плёнка очень плотная, с поверхности не удаляется.
60	1,5	Плёнка пористая, с поверхности плохо удаляемая
100	>2	Плёнка рыхлая, легко скалывается

В отличие от обычных методов введения частиц в массив или поверхностный слой при ионном осаждении из водных растворов должен использоваться метод повышенных концентраций. Это обусловлено тем, что при осаждении гомогенного металлического слоя получается равномерная мелкодисперсная структура без слоистости. Любое включение, на макроуровне, представляет собой концентратор напряжений. Как результат, при высокой объемной кон-

центрации упрочняющей фазы наблюдается расслаивание осаждаемого покрытия, и образование трещин около упрочняющих частиц.

Следует отметить, что размер частиц упрочняющей фазы тоже играет значительную роль на качество покрытий [1]. В то время как мелкие частицы равномерно распределяются по объему, крупные включения создают искажения тока нагрузки и приводят к изменению структуры осаждаемого металла основы и дефектам слоистости. В области малоразмерных частиц образуется мелкозернистый слой металла и их ввод допустим до 30 %. В то время как при наличии крупных частиц, ввиду искажения металлической матрицы (во избежание повышенной хрупкости и отслоения осаждённого слоя) их ввод не должен превышать 15 % от массы осаждаемой композиции.

Проведены исследования по получению покрытия на основе Fe-Co, содержащего электролита. Как показали микроструктурные исследования, высокие токовые нагрузки (выше 8 А/см²) повышают размер зерна нанесённого покрытия в 2–3 раза, что ведёт к снижению износостойкости. В результате исследования технологических параметров выяснено, что данная матрица наиболее эффективно упрочняется на малых плотностях тока.

Исследования проводились по формированию износостойких покрытий из Fe-Co сплава на пластинах из стали 45. При оптимальных параметрах получается стабильный размер зерна с включениями износостойкой интерметаллидной фазы. При этом твёрдость полученного покрытия (при изучении на оптическом твёрдомере) показала ориентировочную твёрдость НВ = 280–290.

Заключение. Изучены особенности формирования композиционных слоев на железоуглеродистых сплавах методом ионного осаждения с использованием Fe-Mn-Zn и Fe-Co систем.

Показаны преимущества получения композиционных покрытий по сравнению монометаллическими.

Список использованных источников

1. Гамбург Ю.Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению, М.: Техносфера. 2006–216 с.

Abstract. It is shown that using the methods of ion deposition from aqueous solutions it is possible to carry out both the restoration of worn working surfaces and the creation of new surfaces with a predetermined structure. This method is characterized by high flexibility, as well as the ability to form coatings with different microstructures, including composite.