

УДК 621.7.047.7

С. Л. НЕГРУБ, Е. Г. ВОЛОДЬКО

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ПОСРЕДСТВОМ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В работе описывается комбинированный метод подготовки и нанесения покрытия посредством применения комбинированной электролитно-плазменной технологии (ЭПТ). Разработан продуктивный, экологически безопасный и экономически выгодный технологический процесс подготовки и нанесения покрытий с использованием современных технологий, который позволяет практически полностью заменить стандартные методы подготовки поверхности и нанесения покрытий. Исследованы характеристики покрытий полученных с применением разработанного технологического процесса. Показано, что в процессе обработки используются экологически безопасные электролиты на основе солей, полученное покрытие удовлетворяет требованиям.

Ключевые слова: электролит, плазма, разряд, очистка, полировка технологический процесс, покрытие, коррозионная стойкость, защита поверхности.

У роботі описується комбінований метод підготовки і нанесення покриття за допомогою застосування комбінованої електролітно-плазмової технології (ЕПТ). Розроблено продуктивний, екологічно безпечний і економічно вигідний технологічний процес підготовки і нанесення покриттів з використанням сучасних технологій, який дозволяє практично повністю замінити стандартні методи підготовки поверхні і нанесення покриттів. Досліджено характеристики покриттів отриманих із застосуванням розробленого технологічного процесу. Показано, що в процесі обробки використовуються екологічно безпечні електроліти на основі солей, отримане покриття задовольняє вимогам.

Ключові слова: електроліт, плазма, розряд, очищення, полірування, технологічний процес, покриття, корозійна стійкість, захист поверхні.

The paper describes a combined method of preparation and coating by applying a combination of electrolytic-plasma technology (EPT). A productive, environmentally safe and cost-effective process of preparation and coating with the use of modern technology, which allows almost completely replace standard methods of surface preparation and coating. Have been investigated the characteristics of coatings obtained using the developed process. It is shown that during the treatment ecologically safe use electrolytes based salt obtained meets the requirements of the coating.

Keywords: electrolyte, plasma, discharge, cleaning, polishing, technological process, coating, corrosion resistance, surface protection.

Введение. На сегодняшний день наиболее распространенными методами нанесения покрытий являются гальванический и химический (восстановление из растворов солей).

Однако при данных методах, перед нанесением защитного покрытия обязательна подготовка поверхности. Даже самое хорошее и качественное покрытие не будет обладать высокими защитными свойствами, если неправильно произведена предварительная подготовка поверхности. Подготовка поверхности металла очень сильно влияет на коррозионную стойкость изделия.

Подготовка поверхности металла включает в себя предварительную механическую обработку (шлифовка, полировка), очистку от жировых загрязнений, оксидных пленок, грязи и т.д. Осуществляется подготовка поверхности следующими способами: механической очисткой, обезжириванием и травлением. Иногда достаточно лишь одного метода удаления загрязнений, в других случаях – применяются все. Каждый этап очистки, в зависимости от тяжести загрязнения, может повторяться несколько раз, например, стальные болты, которые хранились в смазочных материалах, могут подвергаться процессу обезжиривания два-три раза [1–3].

Неполноценная подготовка поверхности приводит к браку, который, как правило, приходится перепокрывать или изготавливать заново (при многослойном покрытии), что требует значительных материальных затрат.

Каждый из этапов подготовки поверхности к нанесению покрытия связан с рядом вредностей и опасностей:

– при предварительной механической обработке в воздухе образуется большое количество абразивной пыли;

– обезжиривание растворителем проводится путем использования ацетон-трихлорэтилена часто в ультразвуке;

– щелочная очистка в сильном основании, чтобы удалить исходный оксидный слой. Этот раствор состоит из карбоната натрия и триортофосфата натрия;

– кислотная очистка производится в растворе серной, фтористоводородной, азотной или раствором ортофосфорной и азотной кислот.

Учитывая вышеизложенное возникает необходимость в разработке современного экологически безопасного, экономически целесообразного и продуктивного метода комбинированной электролитно-плазменной обработки.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Последние 15 лет интенсивно внедряется в производство экологически чистый метод электролитно-плазменной обработки металлических изделий. Новый метод позволяет обрабатывать в водных растворах солей металлические и полупроводниковые изделия из нержавеющей и углеродистых сталей, медных и алюминиевых сплавов, латуни, цинка, титана, кремния. Наряду с высокой производительностью электролитно-плазменная технология имеет более высокие технические характеристики: скорость обработки изделия, шероховатость его поверхности, отсутствие внедрения частичек абразива, обезжиривание поверхности.

Данный метод во многом лишен недостатков, присущих традиционным механическим и электрохимическим способам обработки, и дополнительно позволяет экономить материальные ресурсы. Его преимуществами являются высокая производительность и эффективность, соблюдение экологической чистоты окружающей среды, высокое качество и скорость выполняемых операций, невысокая стоимость. Электро-

литно-плазменная обработка во многих случаях может заменить трудоемкую механическую и токсичную химическую обработки в кислотных растворах. Производительность и экономическая эффективность технологических операций в 3–4 раза выше аналогичных, осуществляемых механическим способом, и в 5–6 раз выше электрохимического способа обработки. Процесс соответствует требованиям санитарных норм. Электролитно-плазменная полировка выполняется на компактных установках, которые просты в управлении и надежны в эксплуатации.

Процессы, происходящие при плазменно-электролитической обработке

На рис. 1 демонстрируется вольтамперная характеристика процесса.

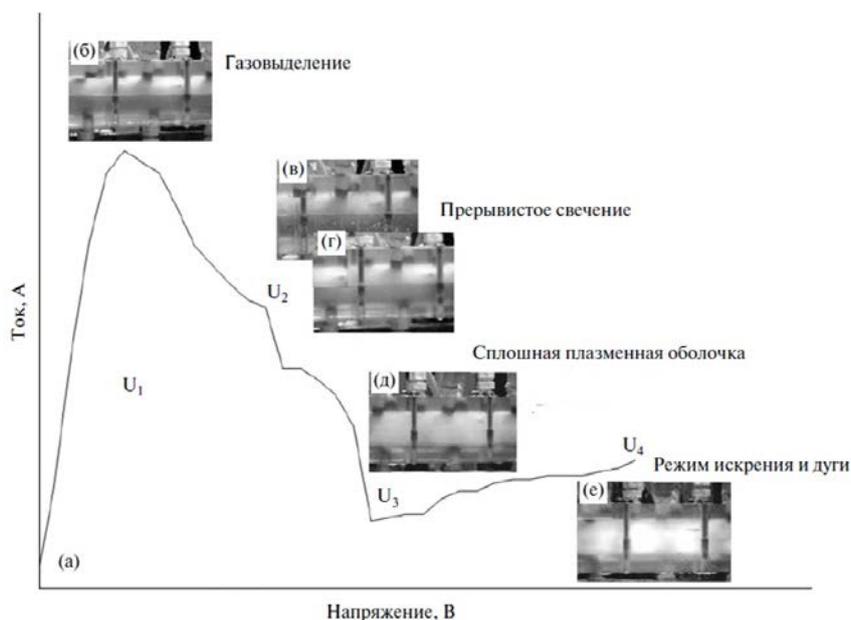


Рис. 1 – Вольтамперная характеристика для (ЭПТ) – обработки в катодном режиме: а – Начало обработки; б – Газовыделение; в, г – Прерывистое свечение; д – Сплошная плазменная оболочка; е – Режим искрения дуги [8]

При низких напряжениях, U_1 , ток линейно возрастает с увеличением напряжения, согласно закону Фарадея. Этот режим сопровождается наличием газа, обычно, H_2 , как и в данном случае, что показано на рис. 1(б). При дальнейшем увеличении напряжения, достигается точка U_2 (>90 В), наличие которой является интересным явлением для изучения электролитических плазменных процессов. Эта область характеризуется появлением светящегося газа, он нестабилен, о чем свидетельствуют значительные колебания тока. Ток, обозначенный в этом режиме – это средний ток колебаний (макс, мин тока). Рис. 1, в, г показывают нестабильность, которая сопровождается прерывистым свечением газа. Появление светящегося газа было обусловлено испарением электролита вблизи электрода (в данном случае, катода) благодаря Джоулеву теплу. Экспериментальные исследования, проведенные без учета Джоулева тепла, показывают, что нормальный электролиз невозможен без формирования светящегося газа, поскольку не происходит электролитического газовыделения, возрастающего с ростом напряжения [4–8].

При увеличении напряжения до U_3 , катод окружается сплошной газообразной плазмой, которая характеризуется значительным уменьшением тока. Это режим работы, когда плазма стабильна, и когда можно осуществлять контролируруемую обработку поверхности, рис. 1.

Известно, что критическая плотность тока для условий появления стабильной плазмы зависит от многих факторов, включая форму (плоские или круглые), размер и ориентацию электрода. В экспериментальных исследованиях было показано, что для формирования устойчивой плазмы при увеличении диаметра электрода необходимы более высокие напряжение и плотность тока. Это согласуется с результатами других авторов, исследовавших катодный режим.

Двигаясь к напряжению U_4 , интенсивное искрение наблюдается вместе с плазменной оболочкой, рис. 1, е. Это агрессивный режим и он может иметь пагубное воздействие на поверхность изделия.

На рис. 2 представлена схема механизма ЭПТ обработки. Из рис. 2 видно, что во время режима стабильной плазмы, заготовка окружена непрерывной газовой оболочкой. Высокий потенциал между электродами приводит к концентрации положительных ионов, присутствующие в электролите, в непосредственной близости от катода, в основном на поверхности пузырьков газа. Таким образом, очень высокий положительный заряд находится в непосредственной близости к катоду.

Это приводит к высоко локализованной напряженности электрического поля между катодом и положительным зарядом. Во время электролитно-плазменного окисления напряженность электрического поля плазменного слоя может достигать 105 В/м и выше. Когда достигается такая напряженность электрического поля, газовое пространство внутри пузырьков ионизируется и является плазменным разрядом. На рис. 2а показано увеличенное изображение такой рабочей поверхности. Один пузырек плазмы показан для наглядности. В реальности количество пузырьков значительно больше. Температура плазмы в некоторых точках может достигать 2000°C. Эти горячие пузырьки окружены относительно прохладным электролитом (примерно 100°C), что ведет к остыванию плазмы. В результате, пузырек лопается на поверхности металла, рис. 2, б, в, г. Длительность разряда плазмы предположительно около 10^{-6} с. Вся поверхность катода не покрывается сплошным слоем плазмы, а покрывается определенным количеством дискретных плазменных разрядов в каждый отдельный момент времени.

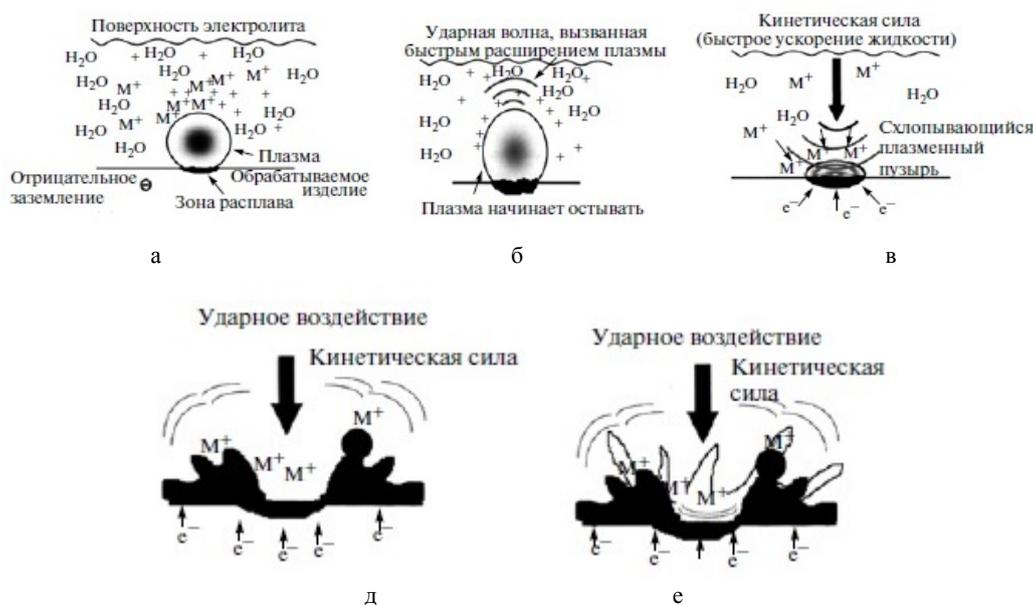


Рис. 2 – Электролитно-плазменная технология нанесения покрытий: а – горячий пузырек плазмы на поверхности детали; б – остывание плазмы на поверхности детали; в – схлопывающийся плазменный пузырь; г – нанесение ионов металла на поверхность; д – расплав нанесенного металла; е – нанесенное покрытие на поверхности детали [8]

Когда пузырек лопається, можуть проізоїти два явлення:

1. Положительные ионы, сконцентрированные вокруг пузырька, скапливаются непосредственно на поверхности катода.

2. Когда лопается пузырек, накопленная энергия высвобождается в газовой слой и кинетическая энергия передается к жидкому слою, а от него – к поверхности рабочей детали. Эта энергия может быть очень высокой, и ионы, изначально ускоренные взрывом от лопающегося пузырька, в дальнейшем движутся к поверхности катода благодаря этой кинетической энергии. Это приводит к осаждению ионов металла, присутствующих в электролите, на поверхность рабочей детали (рис. 2, д, е).

Движение ионов при электролитно-плазменной обработке происходит в основном благодаря их ускорению через плазму и благодаря их поглощению, когда лопается пузырек. ЭПТ – это динамическая система, где движение электролита через реактор с высокой скоростью приводит к быстрому переносу ионов к слою плазмы. Комбинация гидродинамического потока с эффективными механизмами ионного транспорта во время процесса осаждения ЭПТ приводит к высокой скорости осаждения.

Цель работы и задачи исследования. Целью работы является разработка и исследование альтернативного, более экономически выгодного, экологически безопасного и производственного технологического процесса нанесения покрытий на металлические изделия комбинированным методом нанесения покрытий с использованием электролитно-плазменной технологии.

Для достижения намеченной цели были поставлены следующие задачи:

1. Заменить традиционные подготовительные операции перед нанесением покрытия на технологию электролитно-плазменной очистки и полировки.

2. Заменить методы гальванического и химического нанесения покрытий на электролитно-плазменное нанесение покрытия.

3. Разработать производственный технологический процесс подготовки и нанесения покрытия на металлические изделия.

4. Исследовать характеристики покрытий, полученные с применением разработанного технологического процесса.

Материалы и методы исследования. Лабораторные эксперименты проводились в лаборатории кафедры технологии машиностроения НМетАУ на разработанной установке ЭПОс управлением процессом (рис. 3, 4).

В качестве блока питания применялся источник вторичного электропитания ИВЕ – 245 – 09 с бестрансформаторным сетевым входом, работающем на частоте преобразования 45–55 кГц.

Основные технические данные блока питания: мощность 600 ÷ 6000 Вт; напряжение - 100 ÷ 1350 В; ток - 0,5 ÷ 7,0 А.

Для процесса электролитно-плазменной очистки электролит на основе $NaHCO_3$ при концентрации 12 %. Рабочее напряжение очистки 150–200В. При изменении концентрации электролита в пределах от 8 % до 12 %, с тем, чтобы определить, влияние этого изменения на процесс очистки было отмечено, что качество очистки ухудшалось, когда концентрация составляла менее 12 %.

Для процесса электролитно-плазменной полировки применялся электролит на основе сульфата аммония $(NH_4)_2SO_4$ с концентрацией по воде 3 % [9].

Для электролитно-плазменного осаждения никеля (Ni), применялся 20 % водный раствор сульфата никеля $(NiSO_4)$ с результирующей pH ~3,8 и проводимостью ~44 мОм/см при температуре 75°C. Аналогично, как и с электролитом для очистки, концентрация сульфата никеля изменялась в пределах от 15 % до 20 %, при этом

20 % NiSO₄ оказался оптимальным. В качестве образцов для испытаний использовались стальные диски с отвер-

стием под крепление из стали 12X18H9, размеры и форма которых показаны на рис. 5.



Рис. 3 – Экспериментальная электролитно-плазменная установка

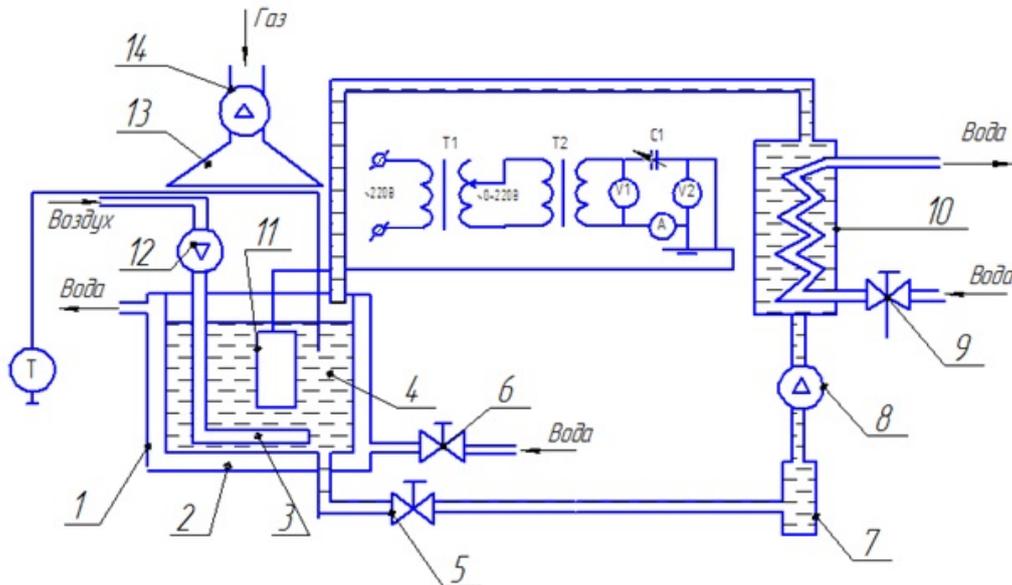


Рис. 4 – Функциональная схема установки ЭПО: 1 – гальваническая ванна; 2 – рубашка водяного охлаждения; 3 – барботер; 4 – электролит; 5, 6, 9 – запорная арматура; 7 – фильтр; 8 – водяной насос; 10 – бак с теплообменником; 11 – деталь; 12 – воздушный компрессор; 13 – вытяжной зонтик; 14 – вытяжной вентилятор

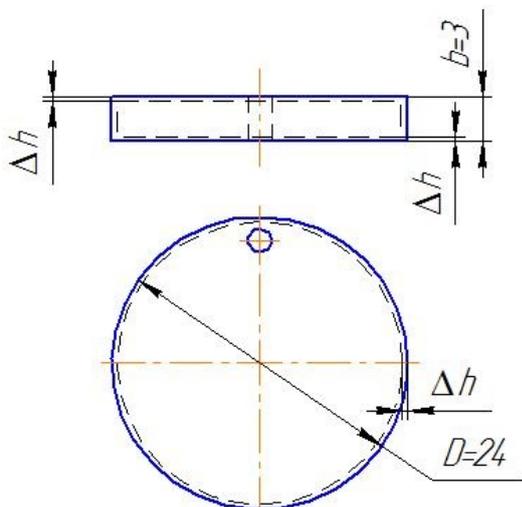


Рис. 5 – Размеры и форма экспериментальных образцов для исследований

Перед проведением исследований все образцы проходили предварительную механическую обработку в производственных условиях.

Значение шероховатости определялось с помощью бесконтактного интерференционного 3-D профилографа «Micron-alpha» производства ООО "Микрон-система" Украина, Киев, который позволяет регистрировать топографию поверхности путем обработки последовательности интерференционных данных (картин), регистрируемых цифровой камерой при смещении опорного (эталонного) зеркала.

Испытания на износ проводились на машине трения «Micron-tribo», предназначенной для проведения испытаний на трение и износ по схеме «шар-диск», «палец-диск».

Для анализа состава материала и определения марки сплава - использовался портативный рентгенофлуоресцентный анализатор с технологией SDD детектора. Новый анализатор металлов S1 TITAN LE

является удобным и простым в эксплуатации инструментом для неразрушающего химического анализа металлов и сплавов. Самая высокая чувствительность кремниевого дрейфового детектора XFlash позволяет определять концентрации элементов в составе образца, в том числе, и легкие элементы, как Mg, Al, Si, P, S и т. д.

Для проведения экспериментов использовали три различных электролита в зависимости от конкретного эксперимента.

Результаты и их обсуждение. Результаты электролитно-плазменной очистки показали удовлетворительные достижения. В этот процесс электролит на основе NaHCO_3 (хотя возможны и другие электролиты) для формирования плазмы H^+ . Из-за природы проводящих электронов осаждение не происходит. Ион водорода H^+ в плазме позволяет быстро очистить поверхность заготовки от грязи, окислов и органических соединений, которые могут присутствовать на ней. Скорость, с которой выполняется очистка по данному методу, а так же экологическая чистота делает электролитно-плазменную очистку весьма желательным процессом, который позволит практически полностью заменить стандартные методы очистки поверхности перед нанесением покрытия.

Применение метода электролитно-плазменной полировки позволило улучшить исходную шероховатость (при исходной шероховатости $\text{Ra}0.8-1.0$ была получена шероховатость $\text{Ra}0.1-0.2$), при этом возможна обработка деталей сложной формы. Это так же является отличным показателем и позволит заменить предварительную механическую обработку поверхности методом электролитно-плазменной полировки.

Сравнение взятого за основу технологического процесса подготовки поверхности и гальванического нанесения покрытия и процесса электролитно-плазменной технологии показаны на рис. 6.

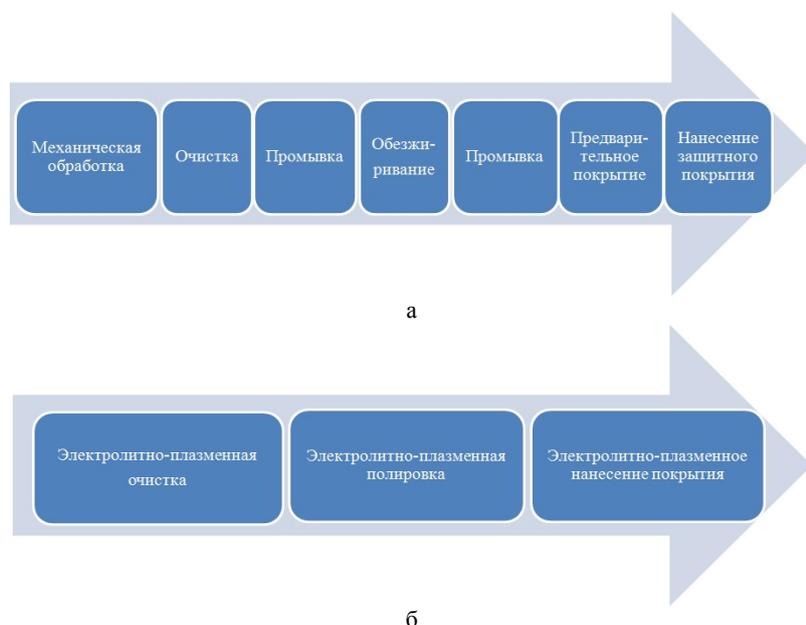


Рис. 6 – Сравнение технологических процессов подготовки поверхности и нанесения покрытия: а – при гальваническом методе; б – при электролитно-плазменной методе

Осаждение Ni на подложке Fe проводилось в 20 % растворе NiSO_4 , который нагревали до темпера-

туры 75°C в интервале напряжений 40-250 В. Реальная вольт-амперная характеристика показана на рис. 7. Исходя из данного графика (рис. 7) наиболее оптимальным и стабильным процесс электролитно-плазменного нанесения покрытия из никеля будет в интервале напряжений 180–200 В.

Средняя толщина покрытия, которое удалось получить в интервалах времени 10, 20 и 30 с показана на рис. 8. Скорость роста покрытия характеризуется высокой линейностью, средняя скорость нанесения покрытия составляет ~ 165 нм/с. Темп роста электролитно-плазменного покрытия развивается линейно и показывает, что скорость роста покрытия не замедлилась по сравнению со стандартными методами из-за переноса ионов через водородный пузырь.

Поперечное сечение и поверхность покрытия, полученного методом нанесения электролитно-плазменного нанесения показаны на рис. 9 и рис. 10 соответственно. Как можем видеть, покрытие непрерывно по всей поверхности, и содержит высокую степень изменения толщины покрытия.

Результаты спектрального анализа элементного состава покрытия применены на рис. 11. Анализ показывает присутствие никеля (83.4 %) и железа (11.0 %), с небольшим присутствием кислорода (5.6 %)

Исследование коррозионной стойкости проводилось в 3,5 % растворе NaCl на протяжении 10000 с. Покрытие полученное в течении 10 с по коррозионной стойкости соизмеримо с материалом подложки. Далее с увеличением времени обработки до 20 и 30 с и соответственно толщины покрытия коррозионная стойкость значительно увеличивается, и становится более стабильным. Тем не менее эти показатели ниже, чем у деталей, полностью состоящих из химически чистого никеля. Часть снижения данного параметра, вероятно связано с нанокристаллическим размером зерен покрытий. Широко известно, что нано-кристаллы приводят к гораздо большему числу границ зерен и тройных стыков, которые могут значительно ниже опускать потенциал коррозии материала. Дополнительное снижение потенциала коррозии может быть связано с наличием небольшого количества железа, присутствующего в слое никеля.

В итоге можно сказать, что осаждение Ni на Fe подложку посредством применения электролитно-плазменной технологии приводит к плотному и непрерывному покрытию при длительности обработки 20 с и более. Применение данного метода характеризуется чрезвычайно высокой скоростью осаждения ~ 165 нм/с. Этот результат указывает на исключительно ионный обмен и отсутствия диффузионного.

Показано, что улучшение коррозионной стойкости не достигает уровня химически чистого никеля. Покрытие становится наиболее устойчивым к коррозии при длительности обработки более 30 с и имеет

положительный сдвиг потенциала коррозии ~200 мВ и уменьшение на ~ 37 % скорости коррозии по сравнению с подложки материала из Fe.

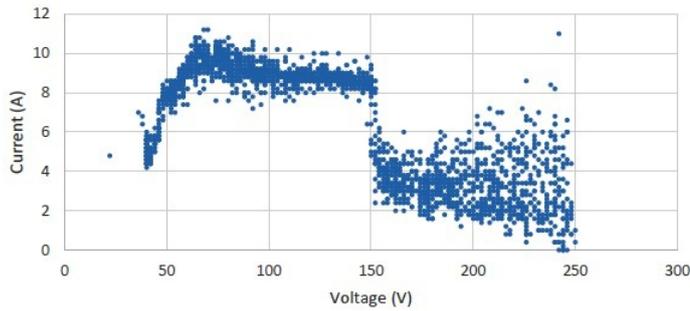


Рис. 7 – Реальная вольтамперная характеристика нанесения никеля электролитно-плазменным методом

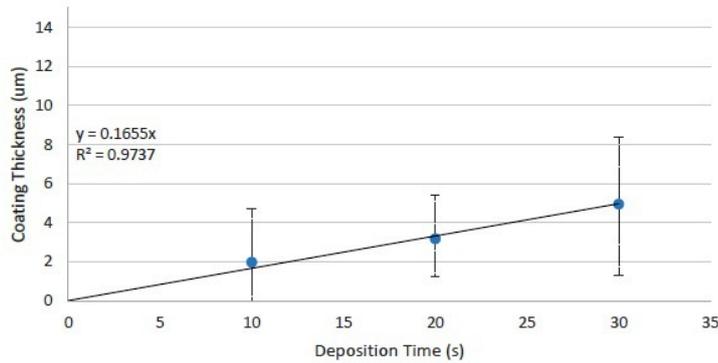


Рис. 8 – Скорость осаждения Ni на Fe [10]

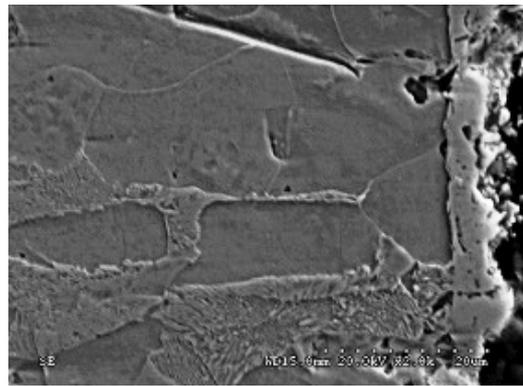


Рис. 9 – Поперечное сечение образца с Ni покрытием [10]

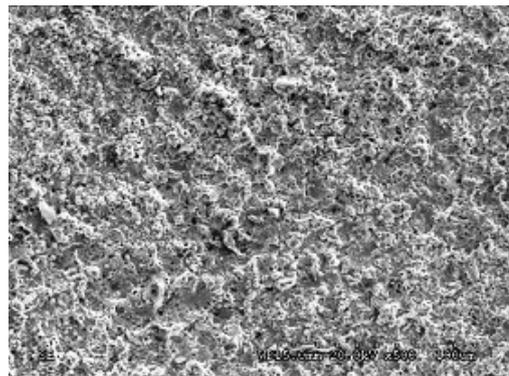


Рис. 10 – Поверхность Ni покрытия [10]

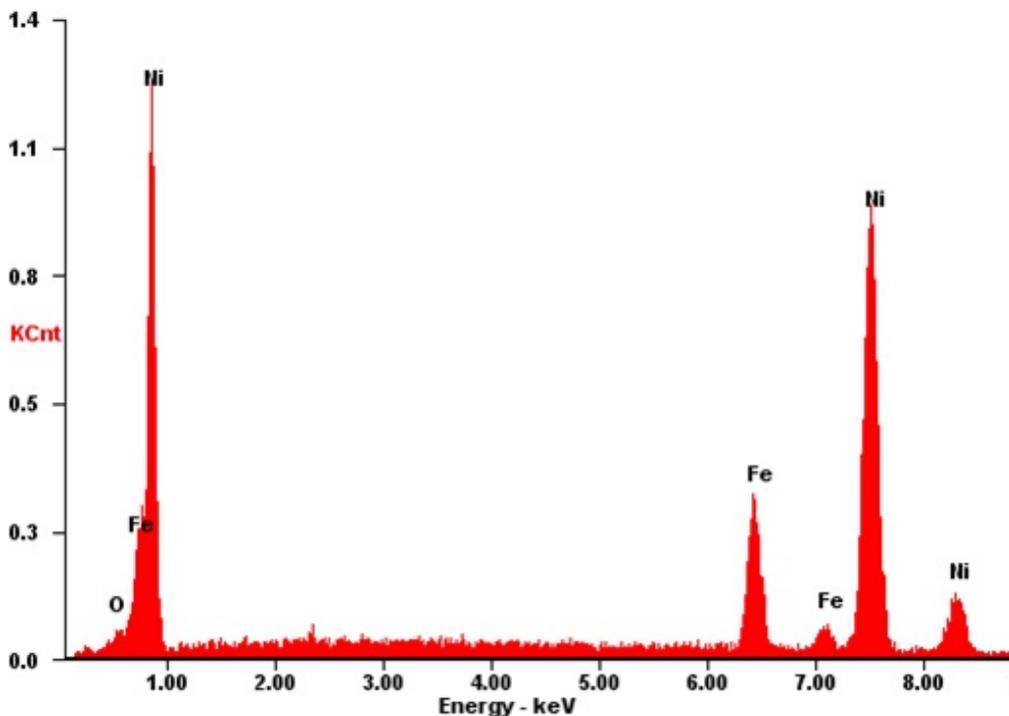


Рис. 11 – Спектральный анализ плазменно-электролитного покрытия Ni на Fe в течение 30 с при 200 В

Выводы. В результате выполненной работы был разработан и исследован альтернативный экономически выгодный, экологически безопасный и производительный технологического процесса нанесения покрытий на металлические изделия комбинированным методом нанесения покрытий с использованием электролитно-плазменной технологии.

Разработан технологический процесс, который исключает стандартные методы подготовки и нанесения покрытия на металлическую поверхность и заменяет их современными методами электролитно-плазменной очистки, полировки и нанесения покрытий. Исследованы характеристики полученного покрытия, которые

показали удовлетворительные характеристики по всем исследуемым параметрам.

Так же показано, что электролитно-плазменный метод нанесения покрытий является значительно более продуктивным и показывает, что скорость роста покрытия не замедляется с увеличением времени обработки.

Список литературы:

1. *Лахтин, Ю. М.* Материаловедение [Текст]: учеб. / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьева. – Москва: Машиностроение, 1990. – 528 с.
2. *Degarmo, E. P.* Materials and Processes in Manufacturing [Text] / E. P. Degarmo, J. T. Black, R. A. Kohser. – Wiley, 2003. – 357 с.
3. *Mazza, V.* Hydrodynamic instabilities in electrolytic gas evolution [Text] / V. Mazza, P. Pedferri, G. Re // *Electrochimica Acta*. – 1978. – № 23 (2). – P. 87–93. doi:[10.1016/0013-4686\(78\)80102-9](https://doi.org/10.1016/0013-4686(78)80102-9)
4. *Лазаренко, Б. Р.* О структуре и сопротивлении при электродной зоны при нагреве металлов в электролитной плазме [Текст] / Б. Р. Лазаренко, В. Н. Дураджи, И. В. Брянецев // *Электронная обработка материалов*. – 1980. – № 2. – С. 50–55.
5. *Дураджи, В. Н.* Нагрев в электролите [Текст] / В. Н. Дураджи, А. С. Парсаданян. – Кишинев: Штинца, 1988. – 213 с.
6. *Куликов, И. С.* Особенности электроимпульсного полирования металлов в электролитной плазме [Текст] / И. С. Куликов, С. В. Ващенко, В. И. Василевский // *Вести АНБ*. – 1995. – № 4. – С. 93–98.
7. *Суминов, И. В.* Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов [Текст] / И. В. Суминов, П. Н. Белкин, А. В. Эпельфельд, В. Б. Людиг, Б. Л. Крит, А. М. Борисов. – Москва: Техносфера, 2011. – 512 с.
8. *Погребняк, А. Д.* Электролитно-плазменная технология для нанесения покрытий и обработки металлов и сплавов [Текст] / А. Д. Погребняк, А. Ш. Каверина, М. К. Кыльыканов // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. – 2014. – Т. 50, № 1. – С. 72–88.
9. *Smith, A. J.* Surface modification of iron and aluminum by electrolytic plasma processing [Text] / A. J. Smith. – The University of Texas at Arlington, 2014. – 144 p.
10. *Володько, Е. Г.* Планирование активного эксперимента для прогнозирования шероховатости при электролитно-

плазменной полировке [Текст] / Е. Г. Володько, В. А. Тутьк // *Системные технологии*. – 2014. – № 5. – С. 163–169.

11. *Акимов, О. В.* Влияние термической обработки на свойства нового сплава на основе железа [Текст] / О. В. Акимов, С. М. Нури // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2015. – № 6/11 (78). – С. 35–40. doi:[10.15587/1729-4061.2015.56370](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.56370)

Bibliography (transliterated):

1. Lahtin, Ju. M., Leont'eva, V. P. (1990). *Materialovedenie*. Moscow: Mashinostroenie, 528.
2. Degarmo, E. P., Black, J. T., Kohser, R. A. (2003). *Materials and Processes in Manufacturing*. Wiley, 357.
3. Mazza, V., Pedferri, P., Re, G. (1978). Hydrodynamic instabilities in electrolytic gas evolution. *Electrochimica Acta*, 23 (2), 87–93. doi:[10.1016/0013-4686\(78\)80102-9](https://doi.org/10.1016/0013-4686(78)80102-9)
4. Lazarenko, B. R., Duradzi, V. N., Brjancev, I. V. (1980). O strukture i soprotivlenii pri jelektrodnoj zony pri nagreve metallov v jelektrolitnoj plazme. *Jelektroonnaja obrabotka materialov*, 2, 50–55.
5. Duradzi, V. N., Parsadanjan, A. S. (1988). *Nagrev v jelektrolite* Kishinev: Shtinca, 213.
6. Kulikov, I. S., Vashhenko, S. V., Vasilevskij, V. I. (1995). Osobennosti jelektroimpul'snogo polirovaniya metallov v jelektrolitnoj plazme. *Vesti ANB*, 4, 93–98.
7. Suminov, I. V., Belkin, P. N., Jepelfeld, A. V., Ljudin, V. B., Krit, B. L., Borisov, A. M. (2011). *Plazmenno-jelektroliticheskoe modifizirovanie poverhnosti metallov i splavov*. Moscow: Tehnosfera, 512.
8. Pogrebnyak, A. D., Kaverina, A. Sh., Kylyshkanov, M. K. (2014). *Jelektrolitno plazmennaja tehnologija dlja naneseniya pokrytij i obrabotki metallov i splavov*. *Fizikohimija poverhnosti i zashhita materialov*, 50 (1), 72–88.
9. Smith, A. J. (2014). *Surface modification of iron and aluminum by electrolytic plasma processing*. The University of Texas at Arlington, 144.
10. Volod'ko, E. G., Tutyk, V. A. (2014). *Planirovanie aktivnogo jeksperimenta dlja prognozirovaniya sherohovatosti pri jelektrolitno-plazmennoj polirovke*. *Sistemni tehnologii*, 5, 163–169.
11. Akymov, O. V., Nury, S. M. (2015). The effect of heat treatment on the properties of the new iron-base alloy. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(11(78)), 35–40. doi:[10.15587/1729-4061.2015.56370](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.56370)

Поступила (received) 18.02.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Комбинированный метод нанесения покрытий посредством электролитно-плазменной технологии/ С. Л. Негруб, Е. Г. Володько// *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.13–19. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Комбінований метод нанесення покриттів за допомогою електролітно-плазмової технології/ С. Л. Негруб, Е. Г. Володько// *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 7(1179). – С.13–19. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Combined method of coating by electrolytic-plasma technology/ S. Nehrub, E. Volodko // *Bulletin of NTU “KhPI”*. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – № 7 (1179). – P.13–19. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Негруб Светлана Леонидовна – кандидат технических наук, Национальная металлургическая академия Украины, доцент кафедры технологии машиностроения; пр. Гагарина, 4, г. Днепр, Украина, 49600;

Володько Евгений Григорьевич – магистр, Национальная металлургическая академия Украины, аспирант кафедры технологии машиностроения; пр. Гагарина, 4, г. Днепр, Украина, 49600;

Негруб Світлана Леонідівна – кандидат технічних наук, Національна металургійна академія України, доцент кафедри технології машинобудування; пр. Гагарина, 4, м. Дніпро, Україна, 49600;

Володько Євгеній Григорович – магістр, Національна металургійна академія України, аспірант кафедри технології машинобудування; пр. Гагарина, 4, м. Дніпро, Україна, 49600; e-mail: yevhenii.volodko@gmail.com.

Nehrub Svitlana – Candidate of Technical Sciences, National Metallurgical Academy of Ukraine, associate professor Department of Technology of Machine Building; Gagarin ave., 4, Dnipro, Ukraine, 49600;

Volodko Yevhenii – Master, National Metallurgical Academy of Ukraine, graduate student Department of Technology of Machine Building; Gagarin ave., 4, Dnipro, Ukraine, 49600; e-mail: yevhenii.volodko@gmail.com.