

По результатам выполненных исследований установлено, что при импульсном токе обеспечивается существенное снижение влияния расположения образца на толщину покрытия в коаксиальной системе электродов – отличие толщины покрытия в наиболее близкой к аноду точке 1 и наиболее удаленной точке 3 составляют 1% для смещения от оси 0 мм, 7% для смещения от оси 25 мм и – 1% для смещения от оси 40,4 мм. Кроме того, использование импульсного тока позволяет повысить плотность тока покрытия с 1 А/дм² до 8,5 А/дм² и получить увеличение толщины покрытия с 5,8 мкм до 10,2 мкм без образования дендритов. Использование импульсных режимов для коаксиальной системы с диаметром противозэлектрода 100 мм обеспечивает уменьшение неравномерности толщины покрытия: при смещении образца от оси на 25 мм – с 60% до 7%, при смещении образца от оси на 40,4 мм с 92% до 1%.

Список использованных источников

1. Исследование и разработка процессов нанесения гальванических покрытий с использованием миллисекундных импульсных электрических режимов / Ю.Г. Алексеев, В.С. Нисс, А.Ю. Королёв, А.Э. Паршутто // Технология - Оборудование – Инструмент – Качество : тезисы докл. 32-й междуна. научн.-практич. конф. (Минск, 7-8 апреля 2016 г.) / редкол.: В.К. Шелег (отв. ред.) [и др.]. – Минск: Бизнесофсет, 2016. – С. 17-18.

УДК 539.21

ФОРМИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Ti-Cr-N, ОСАЖДЕННЫХ НА НИКЕЛЕВЫЙ СЛОЙ

Барковская М.М.¹, Шиманский В.И.²

¹ Брестский государственный технический университет

² Белорусский государственный университет

e-mail: mbarkovskaya@mail.ru, shymaniskiv@mail.ru

Abstract. *The method for the formation protective coating based on combination of vacuum arc and chemical deposition methods is proposed. It allows to repeatedly increase the corrosion resistance of the surface of the steel products exposed to chemically aggressive environments. This method can also be used as a basis for the development of energy-and resource-saving technologies of hardening nickel-phosphorus coatings on steel products obtained by chemical methods.*

Осажденные вакуумно-дуговыми методами нитридные покрытия на основе системы Ti-Cr-N широко используются в машиностроении для увеличения срока эксплуатации технически важных материалов, поскольку обладают высокой твердостью, износостойкостью и достаточной термической стойкостью, тем самым обеспечивая в определенной степени свои защитные функции [1]. Однако их стойкость к коррозии часто является неудовлетворительной, поскольку толщина покрытия обычно составляет не более 5 мкм, а на их поверхности и в объеме существуют структурные дефекты (микрокапли, поры, микротрещины, сквозные поры и др.), и таким образом агрессивная коррозионная среда может проникать через поверхностные дефекты к стальной основе. Поэтому для повышения их стойкости к коррозии необходимо уменьшить количество дефектов за счет усовершенствования структуры или осаждения многослойных покрытий. Другой способ достижения повышенной стойкости к коррозии состоит в том, чтобы ввести между стальной основой и покрытием устойчивый к коррозии промежуточный подслой, полученный химическими методами осаждения.

В нашей работе в качестве промежуточного подслоя было выбрано осажденное химическим способом из слабокислого ацетатно-аминоуксусного электролита покрытие на основе никеля (толщиной 5-20 мкм), в котором присутствует равномерно распределенный по глубине фосфор с концентрацией 10 ат.%. Наличие фосфора обусловлено тем, что в основе химического осаждения покрытия Ni_{0,9}PO_{0,1} лежит кинетически заторможенная ре-

акция взаимодействия ионов металла с гипофосфитом натрия NaPH_2O_2 , проходящая на границе раздела фаз. Нанесенный на стальную основу плотный подслоя $\text{Ni}_{0,9}\text{P}_{0,1}$ представляет собой смесь кристаллической и аморфной фаз Ni со средним размером кристаллитов не менее 2 нм и слабо упорядоченного твердого раствора фосфора в никеле [2].

Однако после химического осаждения адгезионное сцепление покрытия NiP со стальной основой невелико, поскольку на его влияет не только подготовка поверхности, но и сам раствор электролита. Поэтому покрытые химическим никелем детали не должны испытывать силовых нагрузок при эксплуатации. Согласно данным по химическому никелированию, максимальное адгезионное сцепление со стальной основой достигается в результате нагрева покрытий NiP при температуре 400-500 °С в течение одного часа, а удовлетворительная прочность с алюминиевыми и медными сплавами обеспечивается при температуре 350°С с минимальной выдержкой 30 мин.

В нашей работе традиционная долговременная и высокотемпературная термическая обработка осажденных на стальную основу никелевых покрытий заменяется высокоэнергетической ионной бомбардировкой с последующим осаждением вакуумно-дуговым методом при совмещении плазменных потоков Ti и Cr покрытий на основе твердого раствора $(\text{Ti,Cr})\text{N}$ с широким диапазоном концентраций хрома.

Таким образом, в получаемом комбинированном покрытии формируются две переходные диффузионные зоны, обусловленные особенностями процессов их осаждения. Формирование переходной зоны между покрытием TiCrN и подслоем $\text{Ni}_{0,9}\text{P}_{0,1}$ происходит на первой стадии вакуумно-дугового осаждения в процессе предварительной высокоэнергетической бомбардировки ионами хрома, а также при последующем нанесении покрытия благодаря активации и нагреву никелевого подслоя, что обеспечивает их адгезионное сцепление между собой. На границе подслоя $\text{Ni}_{0,9}\text{P}_{0,1}$ со стальной основой формируется вторая переходная зона, состоящая из атомов никеля, фосфора и железа, вследствие диффузии этих элементов благодаря градиенту концентраций. Следует также отметить, что при последующей бомбардировке ионами Cr и вакуумно-дуговым осаждением покрытия TiCrN происходит нагрев подслоя $\text{Ni}_{0,9}\text{P}_{0,1}$, способствующий кристаллизации аморфной составляющей Ni фазы с выделением упрочняющего фосфида никеля Ni_3P .

Практическая значимость работы заключается в том, что коррозионная стойкость такого комбинированного покрытия увеличивается до 50 раз в солевом (3%-ный раствор NaCl) растворе и до 15 раз в серноокислой среде по сравнению с системой $\text{TiCrN}/\text{Ст3}$, что подтверждается уменьшением анодных токов растворения на порядок (1-5 mA/cm^2) [2]. Увеличение коррозионной стойкости системы $\text{TiCrN}/\text{Ni}_{0,9}\text{P}_{0,1}/\text{Ст3}$ обусловлено созданием дополнительного барьера, препятствующего проникновению коррозионной среды к стальной основе и обладающего защитными свойствами, а также снижением количества очагов коррозии на поверхности покрытия TiCrN , что позволяет увеличить сроки эксплуатации узлов и деталей механизмов, работающих в агрессивных химических средах.

Таким образом, предложен способ формирования комбинированных защитных покрытий, включающий предварительное нанесение на поверхность стали Ст3 химическим способом подслоя NiP , который затем подвергается высокоэнергетической ионной бомбардировке с последующим осаждением вакуумно-дуговым методом при совмещении плазменных потоков Ti и Cr покрытия TiCrN . Нанесение толщиной 15-20 мкм на стальную основу плотного покрытия $\text{Ni}_{0,9}\text{P}_{0,1}$, представляющего собой вследствие высокого (10 ат.%) содержания фосфора смесь кристаллических и аморфных фаз Ni и слабо упорядоченного твердого раствора фосфора в никеле, должно обеспечивать защиту от коррозии поверхности деталей и механизмов различного промышленного применения. При последующей ионной бомбардировке хромом и вакуумно-дуговым осаждением покрытия TiCrN вследствие активации и нагрева подслоя $\text{Ni}_{0,9}\text{P}_{0,1}$ происходят структурно-фазовые изменения – кристаллизация фазы Ni и образование упрочняющего фосфида никеля Ni_3P , а также увеличение адгезионного сцепления за счет формирования переходной зоны

между подслоем и стальной подложкой. Такой подход заменяет долговременную (30-60 минут) термическую обработку химически осажденных покрытий NiP, необходимую для улучшения адгезионного сцепления и упрочнения покрытий с основой. Кроме того, нанесенное вакуумно-дуговое покрытие TiCrN имеет защитные функции благодаря своим высоким механическим характеристикам, таким как твердость и износостойкость. Следовательно, совмещение двух методов получения покрытий позволяет сформировать поверхностные структуры, сочетающие свойства как первых, так и вторых покрытий, что является перспективным для их применения в отраслях машиностроения, металлургии, деревообрабатывающей и горнодобывающей промышленности.

Список использованных источников

1. Барковская М.М. Состав и коррозионная стойкость покрытий на основе нитридов титана и хрома / М.М. Барковская, В.В. Углов, В.В. Ходасевич // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. – 2011. – № 4. – С. 104–109.

2. Барковская М.М. Элементный и фазовый состав комбинированных покрытий на основе системы Ti-Cr-N, осажденных на никелевый слой / М.М. Барковская, В.В. Ходасевич, О.В. Рева // Современные методы и технологии создания и обработки материалов. Кн. 2. Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки. В 3 кн. / Мн.: ФТИ НАН Беларуси; редкол.: С.А. Астапчик (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2014. – Кн. 2. – С. 64-72.

УДК 631.352:631.311.5

ЦЕНТРОБЕЖНАЯ ОЧИСТКА МАСЛА В РЕЖУЩЕМ АППАРАТЕ МЕЛИОРАТИВНОЙ МНОГОРОТОРНОЙ КОСИЛКИ

Борисов А.Л.

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия
e-mail: barys83@mail.ru

***Abstract.** The necessity of the use of oil purification in the cutting apparatus of the ameliorative multi-rotor mower is substantiated. The device and principle of operation of the centrifugal oil purifier are described. Theoretical and laboratory studies as well as production tests were carried out.*

Для скашивания растительности на мелиоративных каналах, дамбах, придорожных территориях в настоящее время широко применяются разнообразные косилки. Наибольшее распространение для выполнения этих работ получили многороторные косилки с нижним приводом роторов от зубчатой цилиндрической передачи. Основной деталью, влияющей на надежность режущего аппарата мелиоративной многороторной косилки, является шестерня цилиндрической передачи привода роторов. Для смазывания шестерен обычно используется смесь трансмиссионного масла и пластичной смазки (солидола). Основной причиной преждевременного изнашивания зубьев шестерен режущего аппарата мелиоративной многороторной косилки является наличие механических примесей в масле режущего аппарата, в состав которых входят и продукты изнашивания деталей привода роторов.

В связи с этим возникает необходимость поиска и внедрения наиболее экономичных и эффективных способов повышения эффективности функционирования режущего аппарата многороторной косилки. Одним из наиболее эффективных способов повышения эффективности функционирования режущего аппарата многороторной косилки является применение очистки масла от механических примесей. На основании анализа способов очистки нефтяных масел, возможности конструктивного исполнения, анализа свойств частиц механических примесей, было принято решение, что для очистки масла в режущем аппарате мелиоративной многороторной косилки наиболее целесообразно применение центробежного способа очистки.

Для этого, нами предлагается запатентованная конструкция центробежного очистителя масла [1, 2]. Он представляет собой цилиндрическую вставку, закрепленную в полости