

5 Гиро, А.М., Глушков, А.А. Лабораторный программно-управляемый источник импульсного тока с высоким выходным напряжением. - Создание новых и совершенствование действующих технологий и оборудования нанесения гальванических и их замещающих покрытий : материалы 4-го Республиканского научно-технического семинара, Минск, 4–5 декабря 2014 г. – Минск : БГТУ, 2014. – 142 с. ISBN 978-985-530-419-8. - с. 37-40.

УДК 621.357.74

А.А. Судас, технолог;  
А.К. Крышалович, главный технолог  
(ООО «Стеклопласт», г. Гродно)

### **АВТОМАТИЧЕСКАЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКАЯ ЛИНИЯ НИКЕЛИРОВАНИЯ И НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЯ ОЛОВО-ВИСМУТ**

Применение гальванических покрытий является одним из наиболее распространённых методов защиты от коррозии, повышения износостойкости деталей, электропроводности и других важных свойств.

Оборудование для нанесения электрохимических, химических и анодно-оксидных покрытий отличается большим разнообразием, что вызвано широким диапазоном технических требований.

Конструкция оборудования зависит от характера технологического процесса, планируемой производительности, номенклатуры обрабатываемых изделий и ряда других требований. Она зависит так же от условий размещения оборудования – отводимой площади, высоты помещения, несущей способности потолка и пола помещения, наличия несущих колонн.

ООО «Стеклопласт» – единственный отечественный производитель по проектированию, изготовлению и монтажу оборудования гальванических линий в Республике Беларусь.

Одним из последних реализованных решений проектирования оборудования гальванического производства является автоматическая гальваническая линия никелирования и нанесения покрытия олово-висмут. Данный комплекс оборудования предназначен для обработки деталей из алюминиевых сплавов в барабанах и на подвесках.

Данный проект реализован в всероссийском научно-исследовательском институте радиотехники (ВНИИРТ).

Первоначально хотелось бы обратить внимание на специфику процесса осаждения никелевых покрытий на алюминий.

Нанесение гальванических покрытий на алюминий сопряжено со значительными технологическими затруднениями. Основными причинами технологических трудностей являются:

- поверхность металла всегда покрыта оксидно-гидроксидной пассивной плёнкой;
- наличие в алюминии значительного количества микропор и оклюдированного в них водорода;
- существенное различие коэффициентов температурного расширения алюминия и металлов покрытия;
- высокая электроотрицательность алюминия, приводящая к контактному выделению на его поверхности других более электроположительных металлов в виде рыхлой и плохо сцеплённой плёнки.

Все вышеперечисленные причины прямо или косвенно препятствуют прочному сцеплению осаждаемых покрытий с поверхностью деталей из лёгких металлов.

Как показывает практика, толщина оксидной плёнки на поверхности обрабатываемых деталей различна. При цинкатной обработке участки тонкой оксидной плёнки растворяется значительно быстрее участков с более толстой плёнкой. Контактное осаждение цинка на участках с растворённой тонкой оксидной плёнкой первоначально по отношению к остальным участкам, причём этот слой контактно осаждённого цинка имеет более рыхлую структуру, что может являться причиной плохого сцепления никеля с основой.

Конечной целью подготовительных операций является нанесение на очищенную от оксидной плёнки поверхность алюминия тонкого, плотного и обязательно равномерного по толщине слоя контактно осаждённого цинка. Следовательно в данном случае необходима качественная предварительная подготовка поверхности, все подготовительные операции должны способствовать достижению этой цели.

Технологическая схема нанесения сплава олово – висмут делится на три стадии, между которыми осуществляются технологические, операции термической обработки, которые выполняются вне гальванической линии в термошкафах. Данная технологическая схема предусматривает нанесение покрытий на детали алюминиевых сплавов разного компонентного состава.

Расчетный темп выхода носителей из линии составляет 30 минут. Для работы линии в автоматическом режиме предусмотрены следующие алгоритмы перемещения деталей по технологическим позициям:

**Этап №1 (подготовительный).** *Детали проходят операции химического обезжиривания, осветления в смеси кислот (либо снятия*

*бракованного покрытия в азотной кислоте) с последующими промывками, после чего подвергаются термообработке в течение шести часов.*

Для снятия внутренних напряжений в металле, а так же для обезводороживания металла после предварительной подготовки проводится операция термообработки.

**Этап №2.** *Нанесение никелевого покрытия толщиной 3 – 12 мкм. Этап имеет два варианта алгоритма обработки деталей в зависимости от типа травления (кислое либо щелочное), еще два варианта в зависимости от типа раствора осветления (в азотной кислоте или в смеси азотной и плавиковой кислот), а так же еще четыре варианта в зависимости от количества операций цинкатной обработки.*

Травление преследует цель полного снятия неравномерной по толщине естественной оксидной плёнки. При последующей промывке в двухкаскадной противоточной ванне оксидно-гидроксидная плёнка образуется вновь, но её толщина будет равномерной вне зависимости от наличия и вида механической обработки.

В результате длительного и интенсивного предварительного травления на поверхности алюминиевых сплавов образуется слишком много травильного шлама, который, в свою очередь, приходится снимать в ваннах осветления.

Контактное цинкование алюминиевых деталей проводится в щелочном растворе. С целью улучшения структуры, плотности и равномерности плёнки контактного цинка очень часто проводят двухкратную цинкатную обработку с промежуточным снятием первично осаждённого цинка в концентрированной в азотной кислоте.

Стоит отметить, что плотные цинковые плёнки получают лишь при кратковременной выдержке в них алюминиевых деталей (не более одной минуты) – при большей выдержке цинковая плёнка становится толще, но в то же время разрыхляется. Такая плёнка приводит к получению тёмных, полосатых никелевых осадков. После цинкования детали промывают в двухкаскадной противоточной промывке и нейтрализуют.

Осаждение никеля можно проводить в стандартном сернокислом электролите никелирования. Плёнка контактного цинка очень тонка и активна и поэтому легко растворяется в кислых и щелочных растворах. По этой причине после цинкатной обработки загрузку подвесок с деталями в ванну никелирования необходимо производить «под током». В противном случае за период от момента погружения в электролит деталей нижнего ряда подвески до момента контакта ка-

тодной штанги с токонесущими опорами-ловителями значительная часть контактно осаждённого цинка может химически раствориться в кислом растворе электролита никелирования и на поверхности алюминиевых деталей вновь образуется препятствующая сцеплению пассивная плёнка.

После нанесения никелевого покрытия, следует операция сушки деталей. Для улучшения сцепления никелевого покрытия с алюминием проводится термическая обработка при температуре 220-230°С в течении часа. В процессе нагрева контактно осаждённый цинк диффундирует в алюминиевую основу, что благоприятно сказывается на сцеплении покрытия.

**Этап №3.** *Нанесение покрытия олово – висмут. Этап имеет два варианта алгоритма движения деталей (нанесение покрытия олово – висмут без подслоя меди или нанесение покрытия олово – висмут с подслоем меди.*

Предварительно перед операциями нанесения покрытия поступают на операции обезжиривания, активации. Детали, промытые в холодной проточной воде, загружают под током в сернокислый электролит меднения. В целом операции меднения, нанесения покрытия олово-висмут при данной технологии производят по общепринятым технологическим процессам. Стравливание бракованных медных покрытий производят в азотной кислоте.

### **Гальванические ванны**

Автоматическая гальваническая линия представляет собой ванны, установленные на металлические конструкции, расположенные в один ряд, с обвязкой трубопроводов, вытяжной вентиляцией, площадкой обслуживания.

Площадка обслуживания линии выполнена из металлических профилей, окрашенных химически стойкой защитной краской. Настил состоит из решетчатых панелей из полимерного материала, поверхность панелей имеет структуру, обеспечивающую предотвращение скольжения при ходьбе.

Гальванические ванны выполнены из полимерных материалов, химически стойких к растворам и электролитам, применяемым на производстве. В линии предусмотрено три системы канализации:

- кислото-щелочных промывных вод;
- кислых концентрированных отработанных растворов;
- щелочных концентрированных отработанных растворов.

Опорожнение технологических ванн производится с помощью воздушно-диафрагменных насосов.

Промывные воды поступают в приемок, оборудованный датчиком уровня. Из приемка промывная вода откачивается воздушно-диафрагменным насосом на очистные сооружения. Включение и отключение насоса осуществляется автоматически по датчику уровня.

Для заполнения ванн предусмотрена подача воды индивидуальным трубопроводом, оборудованным только шаровым краном, во все ванны линии, установлены приборы регулирования подачи воды – ротаметры, вентили в ваннах промывки.

Нагрев растворов в гальванических ваннах осуществляется при помощи ТЭНов. Системой автоматики предусмотрена возможность включения ТЭНов для нагрева растворов в любое заданное время.

Ванны с нагревом оборудованы датчиком уровня и температуры, ванны «под током» без нагрева оборудованы датчиком уровня. Ванны с нагревом так же утеплены листом минеральной ваты, что значительно снижает тепловые потери через стенки ванны при разогреве и эксплуатации.

Так же к ваннам проведён подвод сжатого воздуха, установлены барботёры для интенсификации промывки деталей, а так же для перемешивания растворов перед началом работы линии.

Гальваническая линия оборудована противоточными двухкаскадными ваннами с переливными и сливными карманами. Двухкаскадные промывки расположены после технологических ванн.

Для приготовления электролитов нанесения покрытий предусмотрены специальные емкости, которые оборудованы датчиками уровня и температуры, крышками, а так же механическими мешалками.

Гальванические ванны с вредными выделениями, нагревом оборудованы съёмными крышками. Укрытие ванн локализует распространение вредных веществ, сохраняет тепло в ваннах при нагреве. Автоматическая гальваническая линия так же оборудована стойкой на 5 позиций и постом для чистки анодов. Стойка предназначена для хранения двух технологических спутников, анодных штанг с анодами. Пост для чистки анодов предназначен для удаления с поверхности анодов продуктов анодного растворения.

Так же успешно реализован механизм «толчок тока» для ванны нанесения покрытия олово-висмут. В момент начала электролиза на ванну подаётся плотность тока втрое больше плотности тока нанесения покрытия, спустя 1-2 минуты её значение снижается до расчётного. Стоит отметить, что поверхность обрабатываемых деталей сложнопрофильная, имеет глухие отверстия, поэтому для получения осадков на всей поверхности детали и реализован данный механизм.

Одним из условий реализации данной технологии была необходимость загрузки деталей «под током» в ванны нанесения гальвано-покрытий: никелирования, омеднения, олово-висмут, что успешно реализовано при помощи установки дополнительного выпрямительного агрегата. Ток подводится к подвеске с деталями на тот период времени, когда подвеска с деталями начала погружаться в рабочий раствор, но штанга с подвеской ещё не коснулась опоры катодной шины, подключенной к выпрямителю.

Необходимость в данном приёме возникает при нанесении покрытий на металлическую основу, в данном случае на алюминиевую, склонную к пассивации. Катодный ток от выпрямительного агрегата подаётся на детали при помощи провода спрятанного в гибкий кабель-канал.

На аноды гальванической ванны подаётся ток со стационарного выпрямителя ванны, образуя анодный потенциал. В момент когда катодная штанга «стала» в опоры-ловители, происходит отключение дополнительного выпрямителя и подача анодного и катодного тока на ванну от основного выпрямителя. Таким образом достигается загрузка алюминиевых деталей «под током» в процессные ванны. Сила тока при опускании подвески в ванну увеличивается по мере увеличения площади загружаемых в ванну деталей и достигает 50 % величины рабочего тока.

Для гальванических ванн цинкования, никелирования, нанесения покрытия олово-висмут предусмотрен выпрямитель с промежуточным инвертором, цифровой системой управления, производства ОАО «УПНР».

Для обеспечения качества получаемого покрытия, в комплект оборудования линии входит насосное и фильтровальное оборудование.

### **Автооператор**

Линия оборудована двумя консольными автооператорами с нижним холостым ходом производства ООО «Стеклопласт».

Устройство для транспортировки подвесок перемещается по направляющим путям, которые установлены сбоку от ванн. Выбор консольного автооператора обусловлен высотой предоставляемого помещения.

С точки зрения функционала автооператора, нам удалось достичь общепринятых характеристик перемещения носителя:

- скорость горизонтального перемещения 0,5 м/с;
- скорость вертикального перемещения 0,15 м/с.

Грузоподъёмность составляет 100 кг.

Основным способом управления автооператорами, является автоматическое управление командами, поступающими из пульта управления линии. В этом случае осуществляется совместная работа всех автооператоров на линии. Так же предусмотрены режим работы в наладочном и местном режимах.

Способ управления автооператором (местный, с пульта, или автоматический) выбирается на пульте управления линией.

### **Вентиляция**

Цеха металлопокрытий относятся к категории вредных производств, так как в процессах обработки поверхности и нанесения покрытий в воздух производственных помещений выделяется большое количество вредных веществ, опасных для человеческого организма. На данном объекте имеются технологические ванны с содержанием 30% азотной кислоты, смесей азотных и плавиковых кислот, а так же ванна нанесения никелевого покрытия, что предопределяет специфику проектирования системы местной вентиляции, применения сооружений для очистки отсасываемого воздуха.

Ванны с вредными выделениями, нагревом оборудованы местной вытяжной вентиляцией в виде бортовых отсосов, патрубков, магистральных воздуховодов. В патрубках бортовых отсосов имеются шиберные устройства для регулирования отсоса воздуха на каждой ванне и настройки баланса всей вентиляционной системы.

Все элементы выполнены из полимерных материалов химически стойких к газам, аэрозолям, отводимым от ванн. Для отчистки отсасываемого воздуха от кислот предусмотрен рамный ионообменный фильтр РИФ. Принцип действия данной установки заключается в продувке очищаемого воздуха через фильтровальный блок, который изготовлен на основе волокнистых ионообменных материалов, дополнительно установлено устройство для орошения.

### **Площадка и загрузочная стойка**

Для обслуживания ванн предусмотрена площадка обслуживания с полимерным настилом, шириной 1000мм.

Для разгрузки и выгрузки барабанов, деталей на подвеску предусмотрена загрузочно-разгрузочная стойка. Загрузочно-разгрузочная стойка оборудована, кнопочным пультом. Пульт оборудован кнопками: «стоп» и «вращение барабана».

### **Барабан**

Для реализации технологического процесса линия укомплектована носителями, барабанами с мотор-редуктором, объём барабана 3,8дм<sup>2</sup>. Электропривод помещён в герметичный корпус из ПВХ.

Вращение цилиндра барабана производится мотор-редуктором, питающимся постоянным током напряжением 12В с помощью двух зажимов, подключаемых к контактам «+» и «-», расположенным на раме технологического спутника. Поскольку растворы некоторых гальванических ванн достаточно агрессивны, цилиндр барабана изготовлен из ПВДФ.

### **Маслоуловитель**

Для интенсификации процесса обезжиривания, удаления пены и масел на поверхности электролита гальванической ванны, последняя оборудована маслоуловителем. Ванна химического обезжиривания пополняется очищенным от масел раствором из маслоуловителя автоматически при снижении уровня ниже установленного значения. Пополнение маслоуловителя так же реализовано при помощи автоматической системы управления, пополнение происходит при достижении уровня раствора нижнего порога датчика.

Маслоуловитель – емкость оборудованная механическим фильтром и системой перегородок, что позволяет задерживать загрязнения в его объеме. Масло с зеркала маслоуловителя удаляется при помощи специального устройства – скиммера. Принцип его действия основан на адгезии собираемого продукта к гладкой поверхности коллектора. Коллектор выполнен в виде замкнутой трубы, изготовленной из полимерных материалов, часть которой находится на очищаемой поверхности. Привод скиммера обеспечивает непрерывное движение коллектора, а маслосъемники – очистку его от масла.

Все масла, плавающие на поверхности (капли, пятна, жировые фрагменты), в том числе и из углов резервуара попадают на коллектор и удаляются через отверстие резервуара в полиэтиленовую канистру.

Оставшееся в объеме раствора эмульгированное масло удаляется с помощью сепаратора, внутри которого установлен контейнер с сорбирующей масло загрузкой – полипропиленовыми «спагетти». Очистку целесообразно проводить не постоянно, а с некоторой периодичностью, чтобы загрязнения накапливались на поверхности раствора.

### **Сушка**

Сушка деталей на подвесках происходит в ванне сушки, которая оборудована автоматической крышкой, датчиками температуры и давления.

Ванна сушки представляет собой резервуар, корпус которого изготовлен из полипропилена, предусмотрена теплоизоляция листом минеральной ваты. На корпусе установлен вентиляторный агрегат, со-



стоящий из вентилятора и электродвигателя, так же установлен калорифер. При включении вентилятора происходит всас воздуха из нижней части сушильной камеры и нагнетание его в прямку с электрокалорифером, проходя через который воздух нагревается и подаётся в ванну сушки при помощи форсунок. Горячий воздух неоднократно повторяет свой путь, двигаясь в рециркуляционном режиме. Для компенсации потерь горячего воздуха при открытии крышек ванн предусмотрен подсос вентилятором воздуха из цеха. Для сушки мелких деталей предусмотрена центрифуга.

### **Пульт управления линией**

Управление гальванической линией возможно с пульта управления. При помощи пульта управления оператор устанавливает режим работы линии. Так же оператор может настраивать некоторые параметры линии, например включить вентилятор, разрешить (или запретить) автоматическое пополнение регулирующей ёмкости маслоуловителя, включить фильтровальные установки ванн или подать напряжение на контактные группы, предназначенные для вращения барабанов.

### **Циркуляционное перемешивание раствора**

Поскольку детали сложнопрофильные, возникает вопрос тщательной промывки после каждой операции, в частности усложняется реализация процесса обезжиривания. Для решения данной проблемы в ваннах химического обезжиривания и в нижних каскадах промывок реализована система гидравлического перемешивания. Перемешивание производится путём перекачивания жидкости из ванны через насос с последующей его подачей через форсунки – эдукторы в зону нахождения рабочей поверхности деталей в ванне.

Гидравлическое перемешивание позволяет интенсифицировать процесс химического обезжиривания деталей путём подвода электролита к застойным зонам деталей с одновременным удалением жировых и масляных загрязнений с поверхности, достигнуть полного удаления остатков растворов внутри глухих отверстий в промывных операциях.

### **Покачивание катодной штанги**

Ванны нанесения гальванических покрытий оборудованы системами поперечно – продольного покачивания катодной штанги. Покачивание необходимо для предупреждения образования застойных зон в углублениях деталей, а так же в труднодоступных местах, и позволяет интенсифицировать процессы нанесения гальванопокрытий. Покачивание штанг предусмотрено в ваннах цинкатной обработки,

омеднения, никелирования и в ваннах нанесения покрытия олововисмут. Покачивающее устройство представляет собой металлическую раму с опорами и приводится в движение мотор-редуктором с заданной частотой и амплитудой вращения, работа систем качения синхронизирована с работой автооператоров линии.

#### **Обеспечение безопасности.**

С целью обеспечения безопасности при эксплуатации, гальваническая линия оборудована аварийными выключателями. Выключатели установлены на площадке обслуживания, на панели системы управления.

После введения в действие аварийных выключателей происходит полное отключение системы управления линией. После устранения аварии необходимо разблокировать выключатель и приступить к работе.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1 Виноградов С.С. Организация гальванического производства / С.С. Виноградов. М.: Глобус 2005;

2 В чём причина брака никелевых покрытий, осаждённых на алюминий [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.galvanicrus.ru/qa/?answer=192> – Дата доступа: 05.12.2015;

3 Ямпольский А.М. Меднение и никелирование / А.М. Ямпольский. Л.: Машиностроение 1977.

УДК 621.357.7

Ю.Г. Алексеев, канд. техн. наук;  
В.С. Нисс, доц., канд. техн. наук;  
А.Ю. Королёв, канд. техн. наук;  
А.Э. Паршутто, ст. научн. сотр;  
Е.В. Сорока, вед. инженер-электроник,  
(БНТУ, г. Минск)

#### **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ БИПОЛЯРНОГО ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ**

Для чистовой отделочной обработки поверхностей деталей из хромоникелевых сталей и цветных металлов, а также в качестве подготовительной операции перед нанесением гальванических покрытий наиболее прогрессивным в настоящее время является использование процессов электрохимической обработки. Работы, направленные на