

РАЗРАБОТКА И ПУТИ СОЗДАНИЯ ЛИНИЙ АНОДНОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ С НУЛЕВОЙ ЭМИССИЕЙ СТОЧНЫХ ВОД И ТОКСИЧНЫХ ИСПАРЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ ОБРАБОТКИ

Алексеев А.Н., индивидуальный предприниматель, E-mail: galvotech@mail.ru

Введение

В последнее время, учитывая всё возрастающие эколого-экономические требования, как в России, так и за рубежом, наметилась устойчивая тенденция к реализации и внедрению установок и оборудования бессточной гальванохимической (ГХО) обработки и промывки поверхностей деталей, в том числе и с рекуперацией обрабатывающих и моющих сред в технологический процесс (1 – 3).

В то же время, анализ уровня развития существующих технологий и оборудования существующих технологий и оборудования ГХО деталей, а также конкретные примеры реализации последнего, как Российскими, так и зарубежными производителями, показывает, что подавляющее большинство из них, если не все, до сих пор не отвечают современным требованиям, в части (4):

- обеспечения малоэнергетического и эффективного возврата используемых электролитов, растворов и промывной воды в технологический процесс на всех этапах гальванохимической обработки (ГХО) деталей, включая этап транспортировки;

- затрат используемых энергоресурсов (вода, сжатый воздух, электроэнергия и/или пар) и химикатов;

- функционально-технологических возможностей, в частности, отсутствие возможности временного слива используемых токсичных электролитов/растворов или «консервации» последних на длительный (порядка 2-10 суток) период времени, без слива их на централизованные очистные сооружения (ЦОС) и без использования, либо с минимальным использованием систем вентиляции;

- необходимых затрат времени на осуществление промывных операций;

- качества обработки и/или очистки поверхностей деталей, в частности сложно-профильных, содержащих глухие, в том числе и резьбовые, отверстия малого (1,5-2 мм) диаметра, а также узкие пазы и поднутрения и др.

Всё выше изложенное, в полной мере, относится и к существующим технологиям и оборудованию анодного оксидирования деталей.

Так, по признанию В.Ф. Хенли, председателя комитета по анодированию Британского института стандартов, общим недостатком установок анодирования является неполная и неэффективная промывка между двумя смежными этапами процесса, что ведет к чрезмерному загрязнению электролитов и ухудшению качества обработки (5).

А применение, наиболее распространённого, погружного метода промывки поверхностей деталей в процессах анодного оксидирования деталей из алюминия и его сплавов, реализуемого с применением прямоточной или противоточной двух- или трёх-ступенчатой схемы промывки погружением, в том числе и с использованием ванны улавливания, приводит к увеличению общего времени на промывку деталей без гарантии качества промывки поверхностей, в частности, сложнопрофильных деталей, содержащих глухие, в том числе и резьбовые, отверстия малого (1,5-2 мм) диаметра, а также узкие пазы и поднутрения.

Так, в результате исследований, проведенных на ФГУП «ПО «СТАРТ» Минатома РФ по промывке сложнопрофильных деталей погружным методом в трехкаскадной ванне, после их обработки на линии анодного оксидирования, установлено следующее:

- на деталях II и III групп сложности имеются вытечки из глухих отверстий в виде темных, коричневых пятен, образующихся на поверхностях деталей после их сушки, что указывает на недостаточную промывку отверстий, а полученная окисная пленка не соответствует требованиям ОСТ 95. 1129-73;
- при использовании горячей воды ($t = 70^{\circ}\text{C}$) и увеличении времени промывки в 50-100 раз (до 50 мин.), также имелись единичные вытечки из пор материала и глухих отверстий деталей.

В то же время, струйные методы промывки показывают большую эффективность и, в некоторых случаях, универсальность применения (5), поскольку динамический характер струйной промывки в процессе перемещения приспособления с деталями относительно струй промывной воды способствует сокращению времени удаления загрязнений (до 90-95% всех загрязнений удаляется в первую половину общего времени промывки) в отличие от диффузионных процессов погружных методов (6).

Требования стандарта ГОСТ 9.314-90 к чистоте поверхностей деталей и имеющийся на предприятиях Минатома РФ опыт применения моноструйных насадков по промывке глубоких и резьбовых отверстий деталей приборов спецавтоматики в ручном

режиме, а также объективная необходимость решения задачи по устранению субъективного фактора в условиях автоматизированного ГП, определила актуальность проведения исследований по моделированию и определению основных параметров процессов струйно-динамической промывки (ПСДП) сложнопрофильных деталей.

Физическое моделирование струйно-динамической промывки отверстий

Для проведения экспериментальных исследований процесса струйно-динамической промывки (ПСДП), в условиях центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) ФГУП «ПО «СТАРТ», была выбрана физическая модель объекта в виде пластин из оргстекла, с толщиной 3 и 5 мм, с сформированными в их торцевых поверхностях резьбовыми отверстиями диаметром 1; 1,5; 2 и 3 мм, и глубиной ≥ 20 мм.

Целью экспериментальных исследований являлось изучение механизма струйной очистки таких отверстий водяными струями малого диаметра, при использовании напорных систем низкого давления.

В экспериментах использовался моноструйный насадок с сопловым отверстием коноидального профиля и параметрами эксперимента, представленными в таблице 1.

Таблица 1

Параметры моноструйного насадка и эксперимента

$d_{ВЫХ}^{CO}$, мм	$d_{ВХ}^{CO}$, мм	δ_H , мм	q_H , л/с	Время перемещения насадка относительно отверстия $t_H^{(\uparrow)}$, с	Расстояние (l) насадка от резьбового отверстия, мм
0,7	15	24	$0,6 \times 10^{-3}$	0,5 ÷ 1,0*	100
					200

* - для отверстий: М1,5; М2 и М3. Для отверстия М1 величина $t_H^{(\uparrow)} \approx 2$ сек.

Где $d_{ВЫХ}^{CO}$ - выходной диаметр соплового отверстия коноидального профиля;

$d_{ВХ}^{CO}$ - входной диаметр соплового отверстия коноидального профиля;

δ_H - высота (толщина) соплового насадка;

Q_H - расход воды через моноструйный насадок.

В качестве источника промывной воды использовалась, имеющаяся в ЦЗЛ, централизованная система водоснабжения ($P = 0,2$ МПа).

Выходным, информативным, параметром являлось качество промывки глухих резьбовых отверстий, определяемое визуально и/или оптическим методом по наличию остаточного количества электролита в соответствующем отверстии.

Входными, варьируемыми, переменными в экспериментах являлись: время перемещения насадка относительно отверстий и расстояние его размещения от последних.

Значения входных переменных выбирались с учетом уже имеющегося на предприятии опыта по очистке поверхностей сложнопрофильных деталей на участках стационарных гальванических ванн.

В качестве удаляемого из глухих резьбовых отверстий раствора использовался стандартный имевшийся в ЦЗЛ электролит соответствующего цвета, обеспечивающего хорошую контрастность изображения.

На фото 1 – 3 представлены стадии очистки глухого резьбового отверстия (М3) на расстоянии насадка от отверстия l , равном 100 мм (фото 1) и 200 мм (фото 2 и 3).

Исходное состояние эксперимента по очистке глухого резьбового отверстия.



Фото 1.

4

Разработка и пути создания линий анодного оксидирования деталей из алюминия и его сплавов с нулевой эмиссией сточных вод и токсичных испарений в технологическом цикле обработки

Начальный момент струйной промывки резьбового отверстия.



Фото 2

Окончательный момент струйной промывки резьбового отверстия.



Фото 3.

5

Разработка и пути создания линий анодного оксидирования деталей из алюминия и его сплавов с нулевой эмиссией сточных вод и токсичных испарений в технологическом цикле обработки

Результаты проведенного физического моделирования ПСДП позволили сделать вывод о возможности и целесообразности применения, для удаления остатков электролитов/растворов из глухих и резьбовых мелких отверстий, узких пазов и поднутрений деталей из алюминия и его сплавов, методов и оборудования струйно-динамической промывки, основанных на перемещении деталей относительно насадков, впервые выполняемых в виде струеформирующих панелей с сопловыми отверстиями коноидального профиля, обеспечивающих формирование разнорядных «пакетов» параллельных и тонких струй промывной воды максимальной кинетической энергии.

Новое оборудование для струйно-динамической промывки

Для изготовления струеформирующих панелей с сопловыми отверстиями коноидального профиля автором был разработан способ (7), позволяющий получать, методом литья термопластичных материалов (в частности, полипропилена) под давлением, струеформирующие панели (СП), обеспечивающие формирование протяженных «пакетов» параллельных струй воды субмиллиметрового сечения (с диаметром $\approx 0,7$ мм) максимальной кинетической энергии при сравнительно малой величине их аэрации и использовании напорных систем низкого давления ($P = 0,2 - 0,3$ МПа).

После изготовления соответствующих пресс-форм, была отработана и освоена технология литья под давлением, входящих в состав элементов формирования струйных потоков (ЭФСП), струеформирующих панелей (СП), корпусов для размещения последних и необходимых крепежных и соединительных элементов из термопластичных материалов (полипропилен, АВС – пластик, арзамид и др.), представленных на фото 4.

Каждый из ЭФСП (см. Фото 4) содержит струеформирующую панель (СП), с длиной зоны струйной обработки равной 200 мм и высотой модульной наборной панели $H_{СП} = 0,03$ м и корпус, соединяемый с распределительным коллектором, установленным в верхней части ванны соответствующей обработки.

Для регулирования размера зоны струйной промывки и размещения соответствующего количества ЭФСП, автором разработаны способы реализации оригинальных конструкций распределительных коллекторов (РК), позволяющих устанавливать необходимое количество ЭФСП в зависимости от требуемой длины зоны струйной обработки (L^{3CO}).

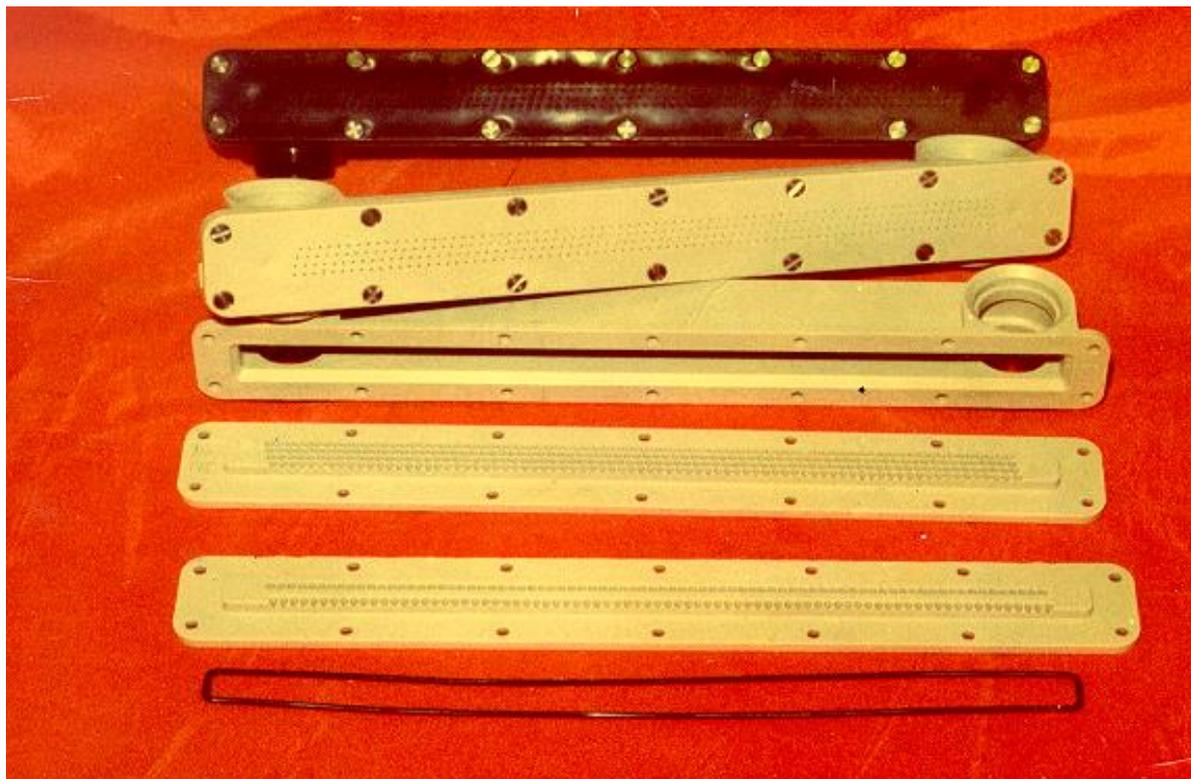


Фото 4.

На рис. 1, представлена конструкция РК, выполненного из термопластичного материала и комплектующих (материал - полипропилен).

Распределительный коллектор с установленными на нём ЭФСП (фрагмент).

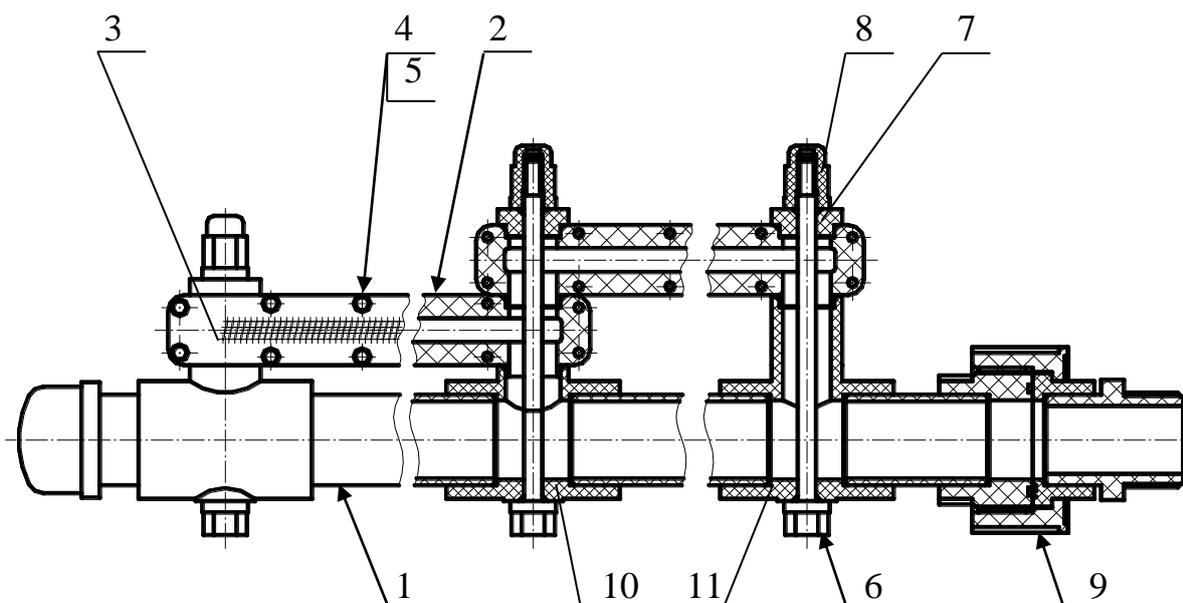


Рис. 1.

7

Разработка и пути создания линий анодного оксидирования деталей из алюминия и его сплавов с нулевой эмиссией сточных вод и токсичных испарений в технологическом цикле обработки

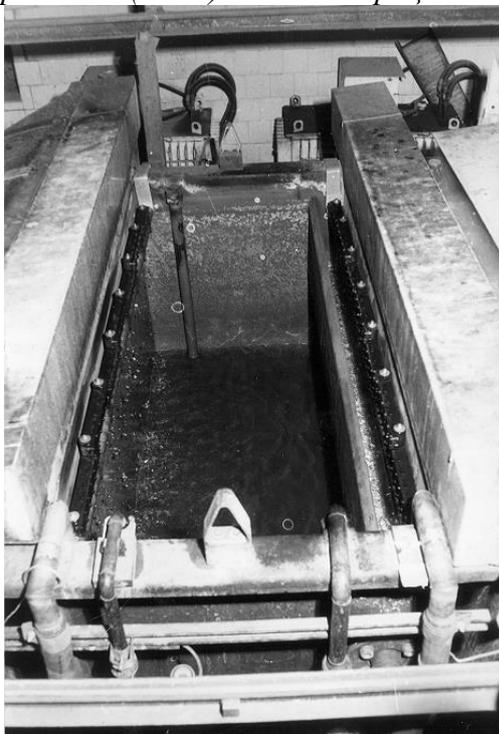
Рис. 1. 1 – распределительный коллектор. 2 – корпус. 3 – струеформирующая панель. 4 – винт. 5 – гайка. 6 – болт. 7 – втулка. 8 – гайка колпачковая. 9 – муфта резьбовая. 10, 11 – тройник переходной.

При этом, сочленение ЭФСП между собой в шахматном порядке и с РК, производится, через уплотнительные кольца, соответственно, с выходами переходных тройников и с отверстиями в корпусах ЭФСП и фиксацию этого положения с помощью изготовленных из неметаллических материалов крепежных, соединительных и уплотнительных элементов, а для изменения угла наклона струй моющей жидкости во всех конструкциях распределительных коллекторов (РК) используются разъемные муфты.

А струйная промывка реализуется в динамическом режиме, в процессе перемещения деталей относительно ЭФСП или наоборот.

В целях проверки возможности и качества промывки деталей на автоматической гальванической линии для анодного оксидирования размещаемых на подвесках деталей «DYNA-PLUS-160» фирмы «Shering» (Германия), входящая в её состав ванна погружной промывки была оснащена контуром струйно-динамической промывки с установленными на РК двухрядными (в данном случае) ЭФСП (см. Фото 5, а, б).

Ванна промывки в составе автоматической гальванической линии для анодного оксидирования размещаемых на подвесках деталей «DYNA-PLUS-160» фирмы «Shering» (в настоящее время – «Atotech»), оснащённая контуром струйно-динамической промывки (вид а). Вид б – в процессе подачи промывочной воды в ЭФСП.



а)



б)

Фото 5.

Данные экспериментальной проверки:

- расход воды через один ЭФСП – 0,2 л/с, количество ЭФСП - $7 \times 2 = 14$ шт.;
- время выгрузки ≈ 7 с;
- объём сточных вод: $0,2 \times 14 \times 7 = 19,6$ литра/подвеска.

При производительности 2 подвески в час, объём сточных вод составил:

$$0,2 \times 14 \times 7 = 19,6 \text{ литров} \times 2 = 39,2 \text{ литра.}$$

По старой технологии, при использовании прямоточной погружной промывки, для ванн с габаритами (длина×ширина×высота) - 1600мм×700мм×1200мм, часовой объём сточных вод составляет ≈ 1000 литров.

При этом, отмечено отсутствие вытечек из глухих отверстий на деталях II и III групп сложности в виде темных, коричневых пятен, образующихся на поверхностях деталей после их сушки, что указывает на качественную промывку отверстий, а полученная окисная пленка соответствует требованиям ОСТ 95. 1129-73.

Полученные результаты служат основой при создании операционных модулей (ОМ) и линий анодного оксидирования деталей из алюминия и его сплавов, с замкнутым циклом движения моющей жидкости в технологическом цикле обработки и делают экономически оправданным, учитывая сравнительно малый расход моющей жидкости (соответственно 0,05, 0, 1 или 0, 2 л/с на одну СП, при $P=0,2$ МПа, в зависимости от количества рядов сопловых отверстий в последней), использование в качестве последней дистиллированной воды или конденсата, обеспечивающих повышенное качество очистки поверхностей деталей, при минимальном (теоретически до нуля) времени нахождения подвески с деталями в ванне (ах) струйно-динамической промывки.

Под технологическим циклом обработки понимается время до выхода «из строя» используемых электролитов/растворов процессных ванн.

По сравнению с насадками, в частности фирм «Атотесн» (Германия) и «Resco» (Италия), обеспечиваются: максимальная кинетическая энергия (коэффициент удельной кинетической энергии струи составляет 0,97-0,99), одинаковое гидродинамическое давление по всей длине зоны обработки и малая величина аэрации струй, отсутствие образования «мертвых» зон и взаимогашения струй, что улучшает качество и сокращает время обработки.

Универсальные методы реализации оборудования для анодного оксидирования деталей с нулевой эмиссией сточных вод.

Учитывая результаты выше приведённых исследований, значительный интерес, как для разработчиков, так и для предприятий, могут представлять, разработанные автором, универсальные методы реализации оборудования для анодного оксидирования и межоперационной очистки деталей, использующие соответствующее изменение структуры и компоновки линии, а также пространственно-функциональную рекомбинацию основных операций классического - комбинированного метода промывки.

Они предусматривают (4):

1. Реализацию любой линии анодного оксидирования в виде совокупности соответствующих операционных модулей (обезжиривания, травления, формирование окисной плёнки, постобработки) со своими системами удаления токсичных испарений.

2. Реализацию каждого из операционных модулей (ОМ) в двух- или трёх-уровневой (включая бак для аварийного слива сточных вод и/или электролитов/растворов процессных ванн) компоновке (см. Фото 6).



Фото 6.

3. Реализацию любой системы межоперационной очистки поверхностей деталей в виде, последовательно выполняемых, распределённой по ваннам многоступенчатой

струйно-динамической промывки (СРМСДПП), реализуемой в противоточном режиме, и объёмной или комбинированной промывки (см. Рис. 2).

Операционный модуль линии анодирования с использованием СРМСДПП.

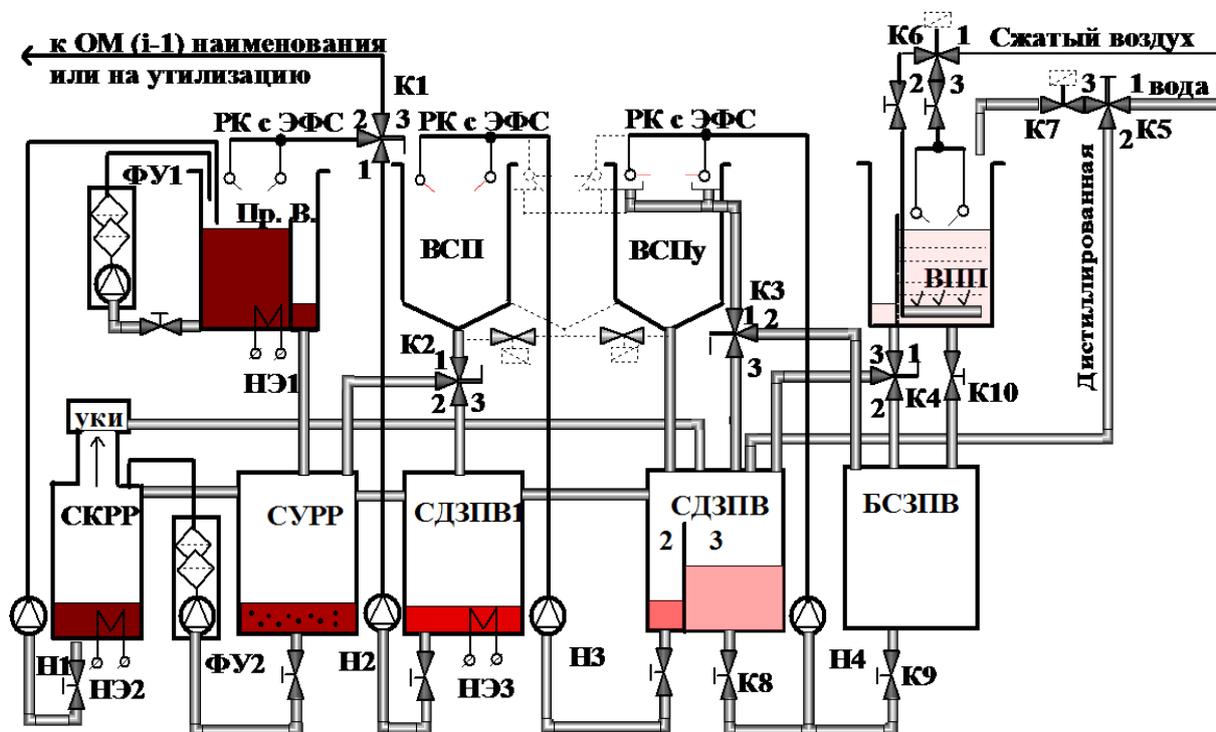


Рис. 2. Пр. В – процессная ванна; ВСП, ВСПу – ванна струйной промывки; ВПП – ванна промывки погружением; СКРР – сборник для концентрирования разбавленного раствора; СУРР – сборник-улавливатель разбавленного раствора; СДЗПВ 1,2,3 – сборник-дозатор загрязнённой промывной воды; БСЗПВ – бак для слива загрязнённой промывной воды; УКИ – устройство для конденсации испарений; РК с ЭФС – распределительный коллектор с элементами формирования струйных потоков (ЭФС); ФУ – фильтровальная установка, Н1-Н4 – локальные напорные системы (ЛНС).

4. Размещение:

- на верхнем уровне ОМ расположенных в технологической последовательности процессной (ых) ванны (ванн) с соответствующей очищающей или обрабатывающей средой (растворы обезжиривания, травления, анодирования в хромовой или серной кислоте и окрашивания), многоступенчатую систему промывки, включающую ванны(у) струйно-динамической промывки, а также ванну промывки погружным или комбинированным способом;

- на нижнем уровне ОМ, в обратной ходу технологического процесса последовательности, оснащенных локальными напорными системами – ЛНС (в том числе и с фильтрующими элементами): бака для слива загрязненной промывной воды и сборник

чистой промывной воды (см. Фото 7), сборника-улавливателя раствора или бака с охлаждаемым раствором процессной ванны, сборника для концентрирования разбавленного электролита/раствора процессной ванны и др.

Бак для слива загрязненной промывной воды и сборник чистой промывной воды



Фото 7.

Отличительной особенностью предлагаемой технологической структуры ОМ является то, что первая из ступеней промывки осуществляется струйным (водовоздушным) методом (в частности, для процессных ванн с нагревом обрабатываемой среды и при обработке деталей на подвесках) непосредственно в процессной ванне, при выгрузке из неё деталей, причём в качестве очищающей среды используется разбавленная электролитом данной ванны вода, образовавшаяся в сборнике-дозаторе последней после струйно-динамической промывки предшествующей партии деталей в первой, после процессной, ванне струйно-динамической промывки (см. Фото 8).

Процессная ванна, оснащённая контуром струйно-динамической промывки и контуром передувки для сдува образующихся в ванне испарений в её бортовой отсос.

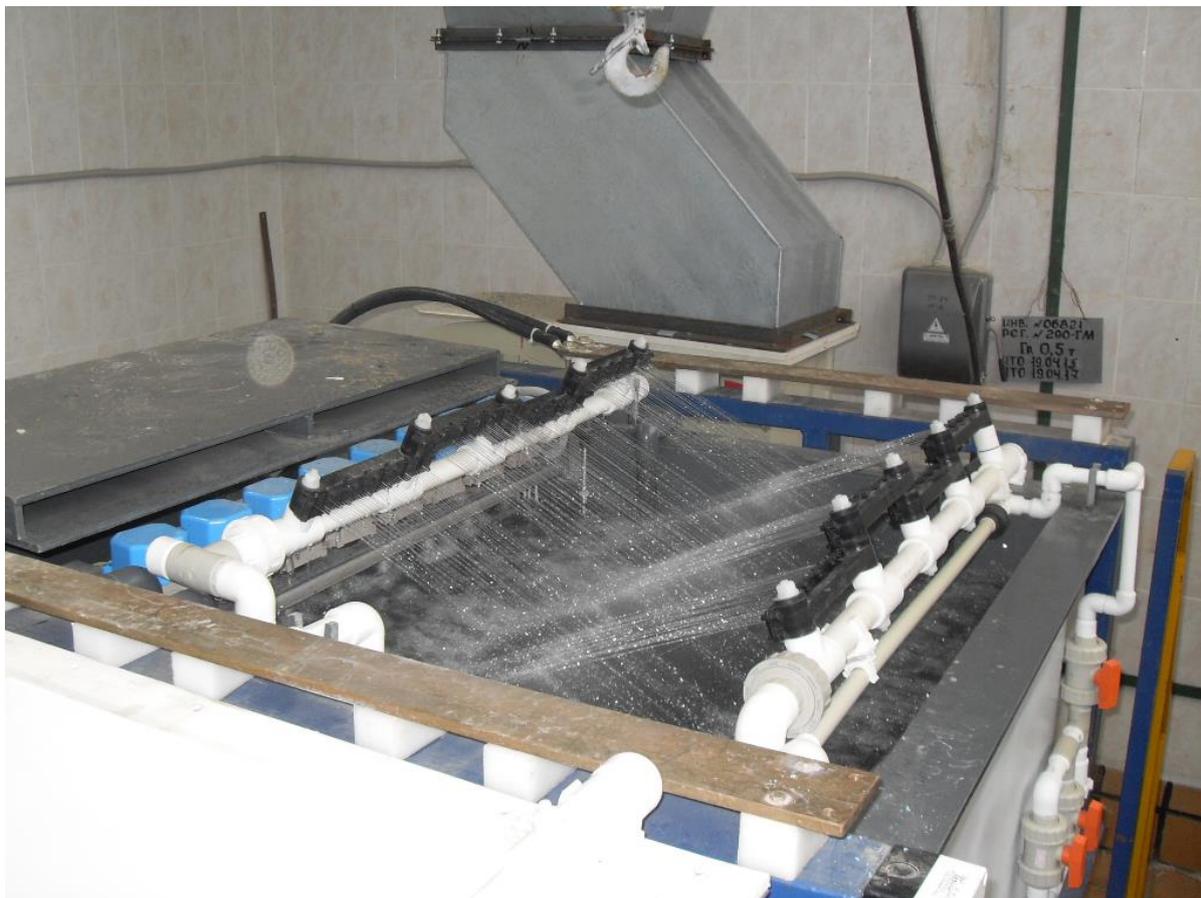


Фото 8.

При этом, количество ступеней струйно-динамической промывки в составе конкретного операционного модуля определяются:

- величиной критерия промывки (R) в последней ванне промывки погружным способом соответствующего операционного модуля (обезжиривания, травления, анодного оксидирования и окрашивания);
- требуемой длительностью работы операционного модуля до момента замены воды в последней ванне промывки погружным способом соответствующего операционного модуля (0,5, 1,0, 1,5, 2,0 месяца и т.д.) при заданной производительности линии анодного оксидирования;
- температурными режимами процессных ванн;
- возможностью использования образующихся сточных вод одного операционного модуля при их нейтрализации в другом и т.п.

Кроме того, с целью сокращения количества промывных ванн и обеспечения возможности временного слива используемых электролитов/растворов анодного оксидирования для выгрузки упавших на дно процессных ванн деталей или их «консервации» на длительный (порядка 2-10 суток) период времени, без слива их на централизованные очистные сооружения (ЦОС), целесообразно использование модифицированной автором структуры операционного модуля на рис. 2, представленной на рис.3.

Модифицированная структура операционного модуля на рис. 2.

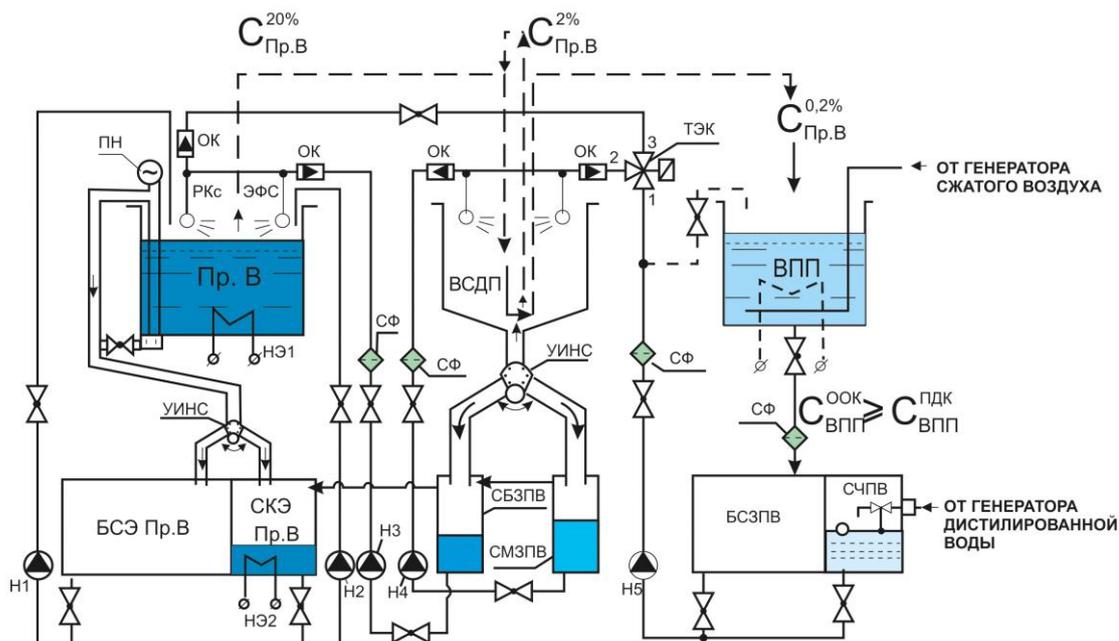


Рис. 3 Пр. В – процессная ванна; ВСДП – ванна струйно-динамической промывки; ВПП – ванна промывки погружением; БСЭ Пр.В – бак для слива электролита процессной ванны; СКЭ Пр.В – сборник-концентратор электролита процессной ванны; СБЗПВ – сборник более загрязнённой промывной воды; СМЗПВ – сборник менее загрязнённой промывной воды; БСЗПВ – бак для слива загрязнённой промывной воды; СЧПВ – сборник чистой промывной воды; ПН – погружной насос; ОК – обратный клапан; РК с ЭФС – распределительный коллектор с элементами формирования струйных потоков (ЭФС); ТЭК – трёхходовой электромагнитный клапан; НЭ – нагревательный элемент; УИНС – устройство для изменения на 2 направления сточных вод; СФ – сетчатый фильтр; Н1 – Н5 - локальные напорные системы (ЛНС).

Универсальные методы реализации оборудования для анодного оксидирования деталей с нулевой эмиссией токсичных испарений

Для обеспечения нулевой эмиссии токсичных испарений в атмосферу цеха автором предусмотрены следующие методы и оборудование, в частности:

1. Пооперационное удаление и обработка токсичных испарений ванн в каждом из ОМ, входящих в состав линии анодного оксидирования.

2. Процессы частичного экранирования (разэкранирования) поверхности зеркала ванны, в соответствии с разработанным автором методом (8), предложено выполнять в вертикальной относительно поверхности ее зеркала плоскости, в частности, с помощью расположенной непосредственно над приспособлением с деталями и замкнутой с торцевых сторон поверхностью \wedge - образного профиля, жестко соединенной с транспортными кронштейнами.

На рис. 4 представлена автоматизированная установка для гальванохимической обработки, вид с торцевой стороны ванны, реализующая вышеописанный метод при незагруженном подвеской с деталями состоянии ванны (рис. 3, а) и в процессе обработки деталей в ней (рис. 3, б).

Автоматизированная установка для гальванохимической обработки.

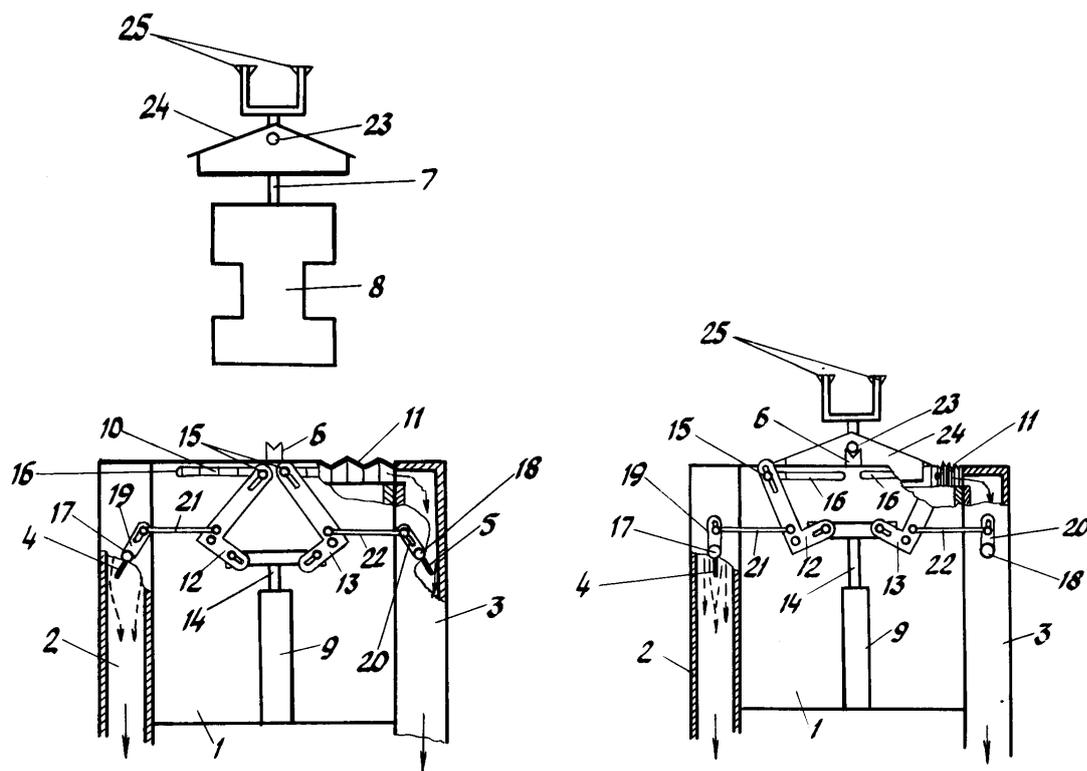


Рис.4, а

Рис.4, б

Рис. 4. 1 – гальваническая ванна (ГВ); 2, 3 - бортовые отсосы; 4, 5 - поворотные заслонки; 6 - ловители штанги приспособления с деталями; 7 - приспособление; 8 - детали; 9 - пневмоцилиндры; крышка в виде гармошек 10, 11; 12, 13 - тяги; 14 - штоки пневмоцилиндров 9; 15 - оси; 16 - пазы; 17, 18 - оси поворотных заслонок 4, 5; 19, 20 - рычаги; 21, 22 - направляющие; 23 - штанга; 24 - замкнутая с торцевых сторон поверхность \wedge - образного профиля; 25 - грузоподхваты.

При этом, существенное (до 2-3 раз) снижение мощности вентиляционной системы локального (в данном случае) типа, в частности, для ГВ, имеющих большие (более 2м) габариты по ширине, может быть достигнуто, за счет применения известного метода передувки, модифицированного автором (8), с обеспечением возможности рециркуляции воздушно - газовой среды, в качестве которой используются сжатый воздух или очищенные выделения данной ГВ.

На фото 9 представлена ванна из состава крупногабаритной МАЛГ АМ 5023 анодного оксидирования крупногабаритных деталей, оснащенная разработанным при участии автора автоматическим устройством для укрытия зеркала ванны, выполненным в виде двухстворчатой структуры.

Ванна, оснащённая автоматическим устройством для укрытия её зеркала.

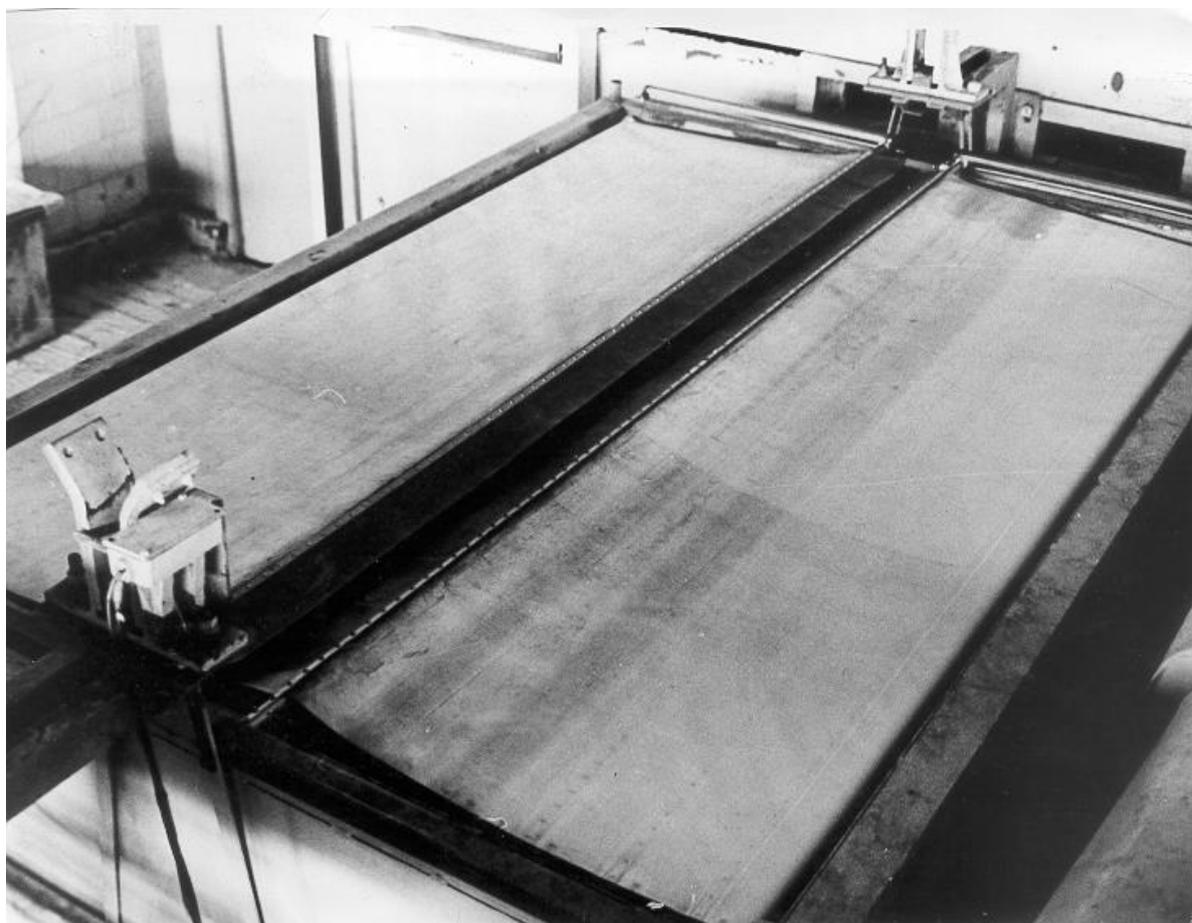


Фото 9.

3. Реализация удаления токсичных испарений и в процессе транспортировки деталей, путём оснащения автооператора (АО) колпаком для улавливания вредных выделений процессных ванн, соединённым с системой вытяжной вентиляции, а также самосливаемым поддоном и коллектором с элементами подачи очищающего агента (про-

мывной воды ВПП или сборника ее слабоконцентрированной части) на внутреннюю поверхность (8), что позволяет:

- исключить необходимость выстоя АО у процессных ванн после выгрузки из последних деталей;
- обеспечить реализацию процессов улавливания с минимальными, по сравнению с существующими методами, затратами производственных площадей и (или) энергоресурсов;
- поддерживать требуемую технологическую стабильность качественных и количественных характеристик применяемых электролитов и растворов и др.

Заключение

Несмотря на значительно (**в 1,5 – 2 раза**) большие, по сравнению с традиционными, затраты на создание непосредственно линий анодного оксидирования, предлагаемые к реализации оборудование и технологии позволяют, по сравнению с известными (по данным открытых публикаций) решениями, обеспечить:

- **отсутствие** (в технологическом цикле обработки) **сточных вод и токсичных испарений**, при минимальных затратах времени, производственных площадей, энерго-ресурсов и химикатов для основных операций процесса анодного оксидирования (обезжиривание, травление, формирование анодно-окисной плёнки и окрашивание);

- **отсутствие** необходимости **строительства или** значительное (в десятки раз) **снижение мощности** очистных сооружений;

- наиболее экономичный возврат (**до 95-99 %**) ценных химических компонентов электролитов и растворов непосредственно в процессные ванны, включая этап транспортировки;

- повышение (**на 10-20 %**) производительности линий анодного оксидирования, поскольку время нахождения деталей, в частности на подвесках, в ваннах струйно-динамической промывки, стремится к нулю;

- **повышение качества промывки** деталей, в частности, содержащих глухие, в том числе и резьбовые отверстия малого диаметра, узкие пазы и поднутрения;

- **возможность временного слива** используемых электролитов и растворов для выгрузки упавших на дно процессных ванн деталей или их «консервации» на длительный (порядка 2-10 суток) период времени, без слива их на централизованные очистные

сооружения (ЦОС) и без использования, либо с минимальным использованием, систем вентиляции и др.

А срок окупаемости такого оборудования может составить 2-3 года.

При этом, под технологическим циклом обработки понимается время до выхода из строя электролита/раствора соответствующей процессной ванны линии анодного оксидирования.

Экспериментальная проверка и/или промышленная эксплуатация разработанных ЭФСП и СРМСДПП (в период с 2002 по 2016 гг.) на различных предприятиях/фирмах подтвердила достижение вышеуказанных показателей.

Список ссылок

1. Гибкие автоматизированные гальванические линии/Под общ. ред. В.Л. Зубченко. М.: Машиностроение, 1989. С. 672.
2. Алексеев А.Н. Концепция развития и пути создания современного гальванического оборудования // Новые промышленные технологии. М.: ЦНИИ атоминформ. 1997. Вып. 3 (278). С. 2 - 12.
3. Виноградов С.С. Промывные операции в гальваническом производстве / Под ред. проф. В.Н. Кудрявцева. – М.: Глобус, 2007. – 157 с.
4. Алексеев А.Н. Бессточная гальванохимическая обработка деталей с минимальными затратами времени, площадей, энергоресурсов и химикатов // Журнал «Мир гальваники», №1, 2017 г., стр.18-25..
5. Хенли В.Ф. Анодное оксидирование алюминия и его сплавов: Пер. с англ. / Под ред. Синявского В.С. // М.: Металлургия. 1986.- 152 с.
6. Козлов Ю. С., Кузнецов О. К., Тельнов А. Ф. Очистка изделий в машиностроении. М.: Машиностроение, 1982. 264 с.
7. Алексеев А. Н. Способ А. Н. Алексеева для изготовления изделия с отверстиями методом литья // Пат. 2046685 (РФ), Б. И. 1995, № 30.
8. Алексеев А.Н. Повышение эффективности технологических операций и функционирования оборудования гальванохимической обработки в условиях автоматизированного гальванического производства - М.: Изд-во журнала “Новые промышленные технологии” Минатома РФ. 1997.- 189 с.