**С.С. ВИНОГРАДОВ**

# ОРГАНИЗАЦИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

## ОБОРУДОВАНИЕ, РАСЧЁТ ПРОИЗВОДСТВА, НОРМИРОВАНИЕ

***Под редакцией проф. В.Н. Кудрявцева***

Приложение к журналу
"ГАЛЬВАНОТЕХНИКА И ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ"

Москва
"Глобус"
2005

УДК 621.357.74(035): 621.396.69
ББК 34.663:30.605

**ISBN**

**С.С. Виноградов**. Организация гальванического производства. Оборудование, расчёт производства, нормирование. /Под редакцией проф. В.Н. Кудрявцева.– Изд. 2-е, перераб. и доп.; "Глобус". М., 2005. – 240 с.

Изложены сведения по конструкциям, характеристикам и расчётам основных параметров оборудования цехов гальванических покрытий: ванн, подвесочных приспособлений, барабанов, колоколов, гальванических линий, вспомогательного оборудования и источников тока. Показаны принципы нормирования расхода воды на промывку, химикатов, анодов, пара, сжатого воздуха и электроэнергии, а также расчёта эффективных систем вентиляции и рационализации водопотребления. Рассмотрены вопросы составления компоновок гальванических линий и практические рекомендации по организации производства гальванических покрытий.

Книга предназначена специалистам гальванических производств и может быть полезна преподавателям и студентам.

УДК 621.357.74(035): 621.396.69
ББК 34.663:30.605

**ISBN**

© Виноградов С.С., 2005 г.

© Издание на русском языке – Издательство "Глобус", 2002 г.

© Издание на русском языке – Издательство "Глобус", 2005 г., с изменениями.

**СОДЕРЖАНИЕ**


Предисловие 5

1. Ванны 6

1.1 Основные параметры и размеры ванн 6

1.2 Конструкция ванн и материалы для их изготовления 7

1.3 Защита корпусов ванн 13

1.4 Нагревательные устройства 18

1.5 Конструктивные модули гальванических ванн 28

2. Подвесочные приспособления 30

2.1 Типы приспособлений для завешивания деталей в ванны 31

2.2 Конструирование подвесочных приспособлений 32

2.3 Принципы рационального размещения деталей на подвесках 39

2.4 Хранение подвесочных приспособлений 45

2.5 Анодные корзины (конструкция, подвешивание, электрический расчёт) 45

3. Оборудование для гальванической обработки мелких деталей 48

3.1 Колокола 50

3.2 Барабаны 55

3.3 Изготовление и эксплуатация оборудования для гальванической обработки мелких деталей 60

4. Гальванические линии 63

4.1 Кареточные автоматические линии с жестким циклом 64

4.2 Автооператорные линии с программным управлением 68

4.3 Шнековые линии 75

5. Вспомогательное оборудование 77

5.1 Фильтровальные установки 77

5.2 Насосы 82

5.3 Сушильное оборудование 85

5.4 Источники питания ванн 86

6. Расчёт производства 90
6.1 Определение фондов рабочего времени и режима работы цеха 94
6.2 Требования к выбору технологического оборудования и расчёт его количества 96
6.3 Расчёт источников постоянного тока 105
6.4 Расчёт расхода пара и сжатого воздуха 109
6.5 Расчёт расхода анодов и химикатов 112
7. Обеспечение безопасности труда 126
7.1 Химические и физические опасные вредные факторы 126
7.2 Отопление 134
7.3 Освещение 138
8. Вентиляция 141
8.1 Воздушная среда помещений гальванических цехов 141
8.2 Технологические мероприятия, уменьшающие выделение вредных веществ 145
8.3 Местная вентиляция 147
8.4 Общеобменная вентиляция помещений гальванических цехов 154
8.5 Очистка отсасываемого воздуха от вредных веществ 156
9. Водное хозяйство 172
9.1 Требования к качеству воды и промывки 172
9.2 Характеристика систем промывки 181
9.3 Расчёт расхода воды на промывку 183
9.4 Мероприятия по сокращению расхода воды 193
9.5 Расчёт концентраций веществ в промывных и сточных водах 200
10. Организация производства и планировочные решения 211
10.1 Требования к производственным помещениям цеха и размещение последних 211
10.2 Компоновка цеха 215
10.3 Планировка цеха 219
10.4 Отделка помещений цеха 226
Список литературы 228

## Предисловие

Распад планового производства в конце XX и начало возрождения товарно-денежного производства в начале XXI века требуют не только изменения организационной структуры предприятий, но и совершенствования оборудования, включая гальваническое, так как нет ни одной отрасли промышленности, где бы электрохимические, химические и анодно-оксидные покрытия не находили самого широкого применения.

Оборудование для нанесения электрохимических, химических и анодно-оксидных покрытий отличается большим разнообразием, что вызвано широким диапазоном технических требований, которые не могут быть обеспечены в оборудовании одного типа. Конструкция оборудования зависит от характера технологического процесса, стабильности его производительности, числа видов покрытий, номенклатуры обрабатываемых изделий и ряда специальных требований. Она зависит также от условий размещения оборудования – отводимой площади, высоты помещения, встраиваемости в общий поток производства и других факторов.

В настоящей книге приведены сведения по конструкциям, характеристикам и расчётам основных параметров оборудования цехов гальванических покрытий: ванн, подвесочных приспособлений, барабанов, колоколов, гальванических линий, вспомогательного оборудования и источников тока. Показаны принципы расчёта расхода химикатов, анодов, пара, сжатого воздуха и электроэнергии.

Рассмотрены вопросы устройства эффективных систем вентиляции гальванических цехов, требования к санитарно-гигиеническому состоянию воздушной среды помещений, описаны мероприятия по защите атмосферного воздуха от вредных выбросов, приведён порядок расчёта объёма отсасываемого воздуха.

В книге изложены характеристика систем промывки, требования к качеству промывной воды, расчёт расхода воды и концентрации загрязнений в промывных и сточных водах, а также мероприятия по рационализации водопользования.

Представлены требования и практические рекомендации по организации производства гальванических покрытий.

## 1. Ванны

Ванны, т.е. ёмкости, содержащие рабочие растворы, в которых выполняются подготовительные, основные (процессы покрытия) и заключительные операции химической или гальванической (электрохимической) обработки поверхности деталей, являются основным видом оборудования гальванических цехов и участков. Несмотря на чрезвычайное разнообразие применяемых ванн, к ним предъявляется ряд общих требований: герметичность, химическая инертность материала ванны к содержащемуся в ней раствору, возможность создания и поддержания заданного теплового режима; удобство и безопасность обслуживания. Различие в конструкции ванн определяется прежде всего особенностями технологического процесса, требующими подогрева или охлаждения электролита, перемешивания, качания штанг, непрерывной фильтрации, наложения различных физических факторов (ультразвука, магнитного поля, протока электролита и т.п.). Кроме того, для электрохимических ванн необходим также подвод электрического тока требуемой полярности и силы с возможно большей равномерностью распределения тока по поверхности деталей и меньшими потерями электрического напряжения.

Применяемые в гальванических цехах ванны по способу загрузки принято разделять на две группы: ванны ручной загрузки (стационарные) и ванны с механизированной загрузкой.

### 1.1. Основные параметры и размеры ванн

Расстояние между центрами соседних анодной и катодной штанг выбирают в пределах 150–300 мм в зависимости от размеров и формы покрываемых деталей (рис. 1.1). Чем меньше расстояние между катодом и анодом, тем хуже первичное распределение тока и тем больше разница в свойствах и толщине покрытия на различных участках поверхности деталей.

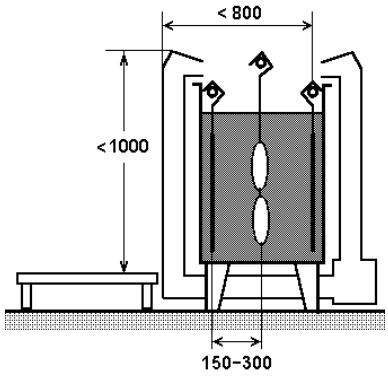



Рис.1.1. Основные размеры ванн ручного обслуживания

Для ванн ручного обслуживания при наличии

одностороннего доступа к ванне их ширина ограничена возможностью человека протянуть руку для работы примерно на 800 мм. При наличии рабочих проходов с обеих сторон ванны, допускающих её двустороннее обслуживание, ширина ванны может быть больше (не более, чем вдвое). При наличии устройства для механизированного подъёма любой катодной или анодной штанги вместе с подвесками ширина ванны эргономическими критериями не лимитируется.

Высота верхнего края ванны, включая арматуру (штанги), бортовой отсос и т.п., от уровня напольных решёток или площадки обслуживания должна находиться в пределах 850–1000 мм. При необходимости установить более глубокую ванну её либо заглубляют, либо поднимают уровень напольных решёток во всем помещении (по крайней мере, на возможно большей его площади).

Длина ванны (обычно по длиной стороне ванны располагают аноды) должна быть кратной ширине подвесочного приспособления с небольшим припуском на интервалы между подвесками. Дополнительно длина ванны увеличивается на припуски для труб змеевиков и барботёров (рис. 1.2) и на повышенные зазоры между крайними подвесками и торцовыми стенками ванны или трубами (в случае, если они металлические) для снижения эффекта биполярного электрода. Длина всех ванн, в которых проводятся длительные операции, одной линии должна быть одинаковой.

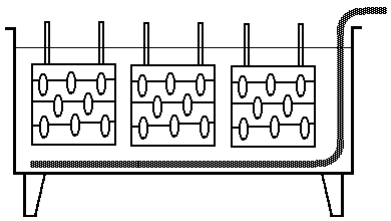


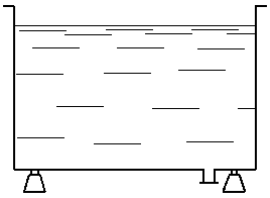
Рис. 1.2. Расположение подвесочных приспособлений и змеевика по длине ванны

### 1.2. Конструкция ванн и материалы для их изготовления

В зависимости от назначения ванн применяются различные типы корпусов. Показанный на рис. 1.3 корпус ванны без кармана применяется для следующих технологических операций: электролитического нанесения покрытий, травления, улавливания, активирования (декапирования), пассивирования, осветления, оксидирования, окрашивания алюминия, нейтрализации, химического и электрохимического полирования, удаления некачественных покрытий,

снятия шлама.

Корпуса ванн, предназначенных для холодной и горячей промывки, химического и электрохимического обезжиривания и травления алюминия, изготавливаются с карманом (рис. 1.4), который служит для слива верхнего сильно загрязнённого слоя жидкости. Расположение карманов допускается как с правой, так и с левой стороны корпуса ванны. Высота сливного кармана должна составлять не менее 10-20 % высоты ванны для исключения перелива жидкости из кармана обратно в ванну при погружении в неё крупногабаритных деталей.



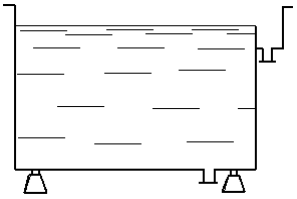


**Рис. 1.3. Корпус ванны без кармана  Рис. 1.4. Корпус ванны с карманом**

Корпуса ванн, показанных на рис. 1.5 и 1.6, предназначены для двух- и трёхступенчатой противоточной (двух- и трёхкаскадной) промывки. Детали начинают промывать в крайней правой "грязной" секции с карманом, из которого вода сливается в канализацию, а заканчивают в левой "чистой" секции, куда поступает чистая вода для промывки из цехового водопровода.

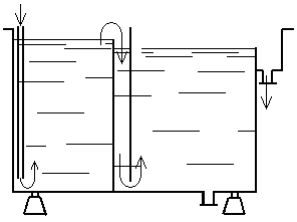


Рис. 1.5. Корпус ванны двухкаскадной промывки

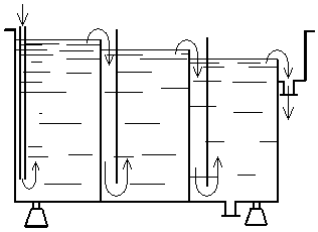


Рис. 1.6. Корпус ванны трёхкаскадной промывки

Из "чистой" секции вода равномерно переливается через специальные перегородки в нижние части следующих секций, вытесняя в канализацию через карманы верхние более грязные слои воды. Эти перего-

родки устанавливаются на расстоянии 50 мм от разделительных стенок секций и несколько выше их.

В гальваническом производстве встречаются ванны, имеющие более трёх ступеней промывки. Эти ванны применяют, например, при покрытии деталей драгоценными металлами. Объясняется это тем, что при большем числе ступеней промывки в канализацию выносится (теряется) меньше драгоценного металла.

В ваннах многоступенчатой противоточной промывки чистая вода поступает сначала в секцию, наиболее удалённую от кармана, переливается в следующую секцию и так до тех пор, пока не попадает в карман, а из него – на очистку. Промываемые детали движутся навстречу потоку воды, т.е. сначала попадают в наиболее "грязную" секцию с карманом, потом – в следующую и так до тех пор, пока не попадут в последнюю "чистую" секцию. Эффективность применения противоточной каскадной промывки рассмотрена в главе 9.

Кроме показанных выше корпусов ванн на практике встречается целый ряд корпусов ванн другой конструкции, предназначенных в основном для промывки.

На рис. 1.7 показан корпус трёхсекционной ванны двухкаскадной промывки для случая, когда в одном корпусе размещены две ванны двухкаскадной промывки в холодной воде после двух технологических операций. Общей для обеих ванн в таком корпусе является средняя "чистая" секция, в которую подается вода из цехового водопровода. Из средней секции вода равномерно переливается через перегородки в нижние части крайних секций, вытесняя в канализацию через карманы верхние более грязные слои воды. Трёхсекционная ванна двухкаскадной промывки устанавливается между технологическими ваннами, после обработки в которых детали промываются в этой промывной ванне. Детали из технологических ванн, расположенных слева и справа от трёхсекционной ванны двухкаскадной промывки поступают сначала в крайние секции с более грязной водой, а затем – в среднюю секцию. Приме-

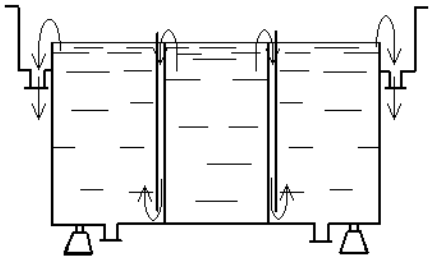


Рис. 1.7. Корпус трёхсекционной ванны двухкаскадной промывки

нение таких ванн промывки экономит производственную площадь, сокращает расход конструкционных материалов, упрощает схемы подвода воды и сжатого воздуха.

Недостатком таких корпусов ванн является их громоздкость. Это вызывает ряд проблем при их изготовлении, монтаже или демонтаже. Для устранения этого недостатка корпус трёхсекционной ванны двухкаскадной промывки изготавливают составным. На рис.1.8 показана такая система, состоящая из двух ванн промывки, соединённых собой трубами. При установке справа или слева ещё одной ванны промывки с карманом можно получить трёхсекционную ванну противоточной каскадной промывки. Перелив воды из правой "чистой" секции в левые с более грязной водой осуществляется через карманы по трубам аналогично схеме сообщающихся сосудов. Такие ванны занимают в линии больше места, так как в этом случае между секциями размещается верхняя отбортовка и карманы, однако преимущества таких корпусов очевидны.

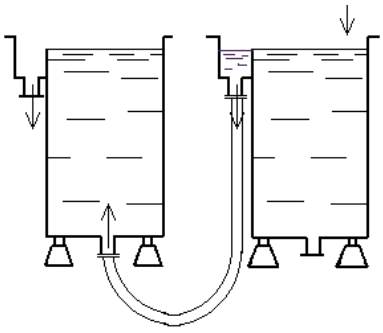


Рис. 1.8. Схема соединения корпусов ванн промывки

Если слив промывной воды из ванны осуществляется сверху ванны, то залив воды должен производиться в нижнюю часть ванны. В этом случае наливную трубу для подачи воды опускают в ванну так, чтобы нижний конец трубы не доходил до дна ванны примерно на 50-100 мм, а верхняя часть трубы выше уровня воды заканчивалась воронкой, в которую вода должна течь из водопроводного крана свободной струей (рис. 1.9 а, б).

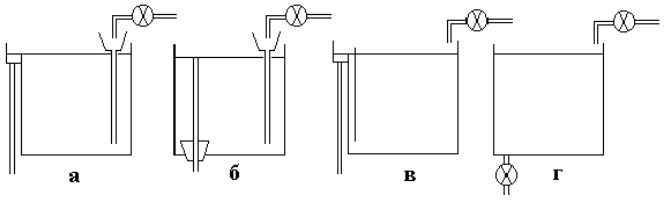



Рис. 1.9. Способы наполнения и слива воды в промывных ваннах

Опускать трубу водопровода без разрыва струи над воронкой нельзя из опасения засасывания промывной воды в общий водопровод в случае падения в нём напора. Если промывная вода сливается из нижней части ванны, то наливают воду сверху свободной струей из водопроводного крана (рис. 1.9 в, г).

Корпуса электролитических ванн, подключенных к источникам питания постоянного тока, во избежание утечки тока, а также для защиты от блуждающих токов следует устанавливать на изолирующие опоры из фарфора. Марка изолятора – СН-6 (изоляторы опорные внутренней установки). Корпуса остальных ванн устанавливают на металлические опоры.

Дно корпуса должно иметь уклон 1:100 или 1:50 в сторону патрубка донного слива. Для уменьшения потери полезной высоты в ваннах длиной 2 м и более дно корпуса делают с уклоном 1:100.

Стенки ванн, в которых рабочая температура растворов превышает 60 °С, для уменьшения потерь тепла изолируют с помощью минеральной ваты и закрывают стальными листами. Дно ванны и карманы теплоизоляции не имеют. При наличии на боковых стенках сливных патрубков, карманов и др. в теплоизоляции для них делаются вырезы.

Для увеличения жёсткости верхних краев боковых стенок ванн производят обвязку их по периметру уголком размером от 50х50х5 до 100х100х10 мм или швеллером высотой от 80 до 120 мм. Полученная таким образом отбортовка может служить для установки на них барботёров, нагревателей, бортовых отсосов, опор для штанг и т.п.

Корпуса ванн высотой 1250 мм и выше рекомендуется обвязывать примерно по середине высоты дополнительными поясами из швеллера для предотвращения образования "бочкообразности". Корпуса ванн длиной 2,5 м и более рекомендуется обвязывать дополнительно вертикальными стойками.

***Ванны из углеродистой стали***. Сталь марки Ст-3 является до сих пор достаточно распространённым материалом для изготовления ванн. Толщину стального листа для ванн объёмом менее 600 л следует брать не менее 5 мм, для ванн объёмом 600 л и более – не менее 7 мм. Внутренние стороны стенок ванн футеруют винипластом или пластикатом.

***Ванны из коррозионностойкой стали***. В некоторых случаях, например для химического полирования в концентрированных кислотах, необходимо делать ванны из коррозионностойкой хромоникелевой ста-

ли, которая устойчива в смеси крепких кислот, содержащей хотя бы несколько процентов азотной кислоты или иного сильного окислителя, но в отсутствии соляной или плавиковой кислот. Добавка в сталь титана предохраняет её от межкристаллитной коррозии. Для изготовления корпусов ванн обезжиривания и горячей промывки применяют без футеровки следующие стали: Х18Н9Т, 12Х18Н10Т, ОХ18Н10Т, Х18Н12Т, ОХ18Н12Б, ОХ21Н15Т, ОХ17Т, Х25Т, 08Х22Н6Т.

***Ванны из титана***. Универсальным материалом для изготовления ванн является титан, обладающий высокой химической стойкостью во многих агрессивных средах. Срок службы титановых ванн в 5-7 раз больше, чем стальных. Высокая коррозионная стойкость и физико-механические характеристики титана позволяют уменьшить толщину стенок ванн более чем в 2 раза. Для изготовления корпусов ванн применяют титановые сплавы следующих марок: ВТ0, ОТ4–0, ВТ1, ОТ4, ВТ1–0 (ГОСТ 19807–74). Футеровка стенок ванн не требуется за исключением электролитических ванн.

***Ванны из полипропилена***. Полипропилен – наиболее перспективный материал, обладающий высокой химической стойкостью, износостойкостью, термостойкостью (до 130 °С без механических нагрузок), высоким сопротивлением ударным нагрузкам, удовлетворительной механической прочностью, низким водопоглощением, низкой водо- и паропроницаемостью, высокими диэлектрическими свойствами. Полипропилен устойчив к воздействию водных растворов неорганических соединений (солей) и к воздействию почти всех кислот и щелочей, даже при высокой их концентрации и температуре выше 60 °С. Только такие сильные окислители, как, например, хлорсульфоновая кислота, олеум и концентрированная азотная кислота, могут разрушить полипропилен уже при комнатной температуре. Непрерывное понижение химической стойкости полипропилена с последующим лавинообразным разрушением имеет место только в электролите для электрополирования коррозионностойких сталей при температуре 80 °С. В этом растворе аналогично ведёт себя и винипласт, но уже при температуре 60 °С. Полипропилен особенно чувствителен к воздействию света, это надо учитывать во всех областях применения продукта. Полипропилены имеют хорошую устойчивость к световому излучению видимой области спектра. Воздействие же (даже кратковременное) ультрафиолетового излучения (излучения с длиной волны 290-400 нм) и кислорода воздуха делает поли-

пропилен хрупким и приводит к повреждению поверхности: потере блеска, растрескиванию и "мелованию" поверхности, ухудшению механических и физических свойств полимера. Этот процесс ускоряется при повышенной температуре окружающей среды.

Высокая химическая стойкость полипропилена в электролитах для нанесения покрытий дополняется тем, что он не оказывает влияния на электропроводимость растворов и обладает высокой прочностью. Ванны из полипропилена, как правило, изготавливаются из блочных конструкций, уже имеющих ребра жёсткости, и поэтому не требуют дополнительной обвязки (рис. 1.10).

Рис. 1.10. Общий вид ванны из полипропилена

### 1.3. Защита корпусов ванн

Футеровка, т.е. облицовка внутренних поверхностей металлических корпусов гальванических ванн химически стойкими материалами, выполняет двоякую роль: защищает стенки ванн от разрушения при воздействии растворов и предохраняет раствор от загрязнений продуктами растворения материала стенок. Кроме того футеровка металлической ванны, предназначенной для проведения электрохимических процессов, препятствует прохождению тока по корпусу ванны (рис. 1.11). В отсутствии футеровки электрическое поле искажается. Часть тока протекает по стенкам ванны в силу значительно большей электропроводности металла по сравнению с электролитом. На боковых стенках (область "а" на рис. 1.12) будет происходить осаждение металла анода, дно под деталью (область "б" на рис.1.12) будет растворяться, а покрытие на детали будет отличаться значительной неравномерностью по толщине – на нижнем крае детали покрытие будет отличаться повышенной толщиной и иметь плохое

качество (подгар, губка и т.п.).

В каждом конкретном случае материал для футеровки выбирается в зависимости от агрессивности раствора, его температуры, размеров ванны и других эксплуатационных условий. Для футеровки применяют пластмассовые, металлические материалы, резину или керамические плитки. В настоящее время керамические плитки практически не применяются. Объясняется это трудоёмкой и главным образом ручной технологией нанесения футеровочного покрытия, строгими требованиями к жёсткости корпуса ванны и невозможностью защищать оборудование, имеющее не только плоские внутренние поверхности.

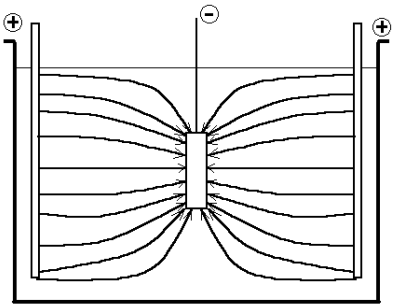


Рис. 1.11. Схема распределения силовых линий в ванне с непроводящими стенками

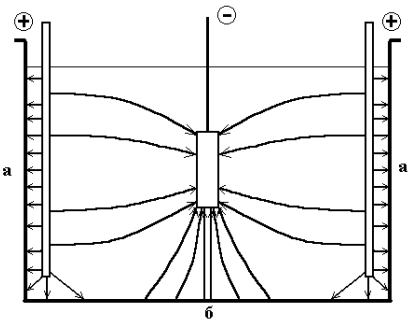



Рис. 1.12. Схема распределения силовых линий в ванне с проводящими стенками

Из металлических футеровочных материалов для зашиты ванн применяют ***листовой свинец*** марок С1 или С2. Свинец стоек в растворах концентрированной серной кислоты и её солей, в концентрированных щавелевой, уксусной и винной кислотах, в сернистой, хромовой, плавиковой (холодной) и фосфорной кислотах. Свинец нестоек в азотной и соляной кислотах, а также в очёнь мягкой водопроводной воде, ограниченно стоек в едких щелочах, сильно растворяется в известковой воде, содержащей 0,1% $Ca(OH)_2$ при доступе кислорода.

Свинец применяли в основном для футеровки ванн хромирования, электрополирования и глубокого анодирования алюминия. В настоящее время из-за недостаточной стойкости свинца при эксплуатации электролитов хромирования и их загрязнения соединениями свинца свинцовую футеровку заменяют на другие материалы.

Для антикоррозионной защиты ванн широко применяются поли-

мерные материалы как в виде свободного вкладыша, так и футеровки, жёстко прикреплённой к стенкам ванн. Практика показала, что при длине ванны 6 и более метров наблюдается растрескивание жёсткого полимера при защите ванны свободным вкладышем. В этом случае наиболее приемлема конструкция футеровки с приклеенной или другим путём плотно закреплённой футеровкой на стенках ванны. Механическая прочность обеспечивается металлическим корпусом ванны, а футеровка выполняет лишь функцию защитного слоя.

Ванны длиной до 1 м можно не только футеровать свободным вкладышем, но и изготавливать целиком из полимерных материалов. При этом необходимо учитывать возможность возникновения в них температурных напряжений, а также напряжений от набухания и гидростатических нагрузок, значение которых возрастает с увеличением габаритов ванн. Особую опасность для ванн из полимерных материалов представляют случайные удары как с наружной, так и с внутренней стороны стенок и дна ванн.

Наиболее распространённый в России футеровочный материал – ***листовой винипласт***. Он представляет собой окрашенный или неокрашенный непластифицированный твёрдый поливинилхлорид (ПВХ), изготовленный методом прессования. Винипласт стоек практически во всех растворах электролитов, применяемых в гальванотехнике, однако нестоек к действию концентрированной азотной кислоты. Большим преимуществом винипласта является то, что он легко сваривается, формуется и обрабатывается механически; это позволяет использовать его как для футеровки ванн, так и в качестве самостоятельного конструкционного материала. Прочность сварного шва достигает 80-85 % прочности основного материала. Недостатками винипласта являются его невысокая теплостойкость и низкая ударопрочность. Винипласт хрупок. При нагревании он размягчается и может принимать любую форму. Температурный интервал применения от 0 до 60 °С, при температурах ниже нуля его хрупкость возрастает, при температурах выше 60 °С винипласт размягчается.

В механических и автоматизированных линиях для футеровки ванн используют полихлорвиниловый ***пластикат***. Он представляет собой неокрашенный пластифицированный эластичный поливинилхлорид. Пластикат устойчив во всех обычных гальванических электролитах, включая хромовый и травильный (сернокислый) при температурах до

70 °С. Перспективным для футеровки гальванических ванн является пластикат ПХ-2, который обладает высокой химической стойкостью при температурах до 90 °С, в том числе в электролитах хромирования, блестящего кислого меднения и никелирования, электрохимического и химического обезжиривания, в серной, соляной и азотной кислотах, щелочах, окиси хрома и других средах. Пластикат ПХ-2 нестоек в растворах хлористого железа и азотнокислого натрия.

Кроме несколько большей термостойкости и химической стойкости пластиката его существенным преимуществом по сравнению с винипластом является гибкость, благодаря которой устраняется нетеплопроводная воздушная прослойка между футеровкой и ванной. Эта прослойка делает неприменимой винипластовую футеровку в ваннах с обогревом пароводяной рубашкой. Кроме того, гибкость, пластичность и хорошая стойкость к истиранию позволяют применять пластикат толщиной 2 мм (против 5-7 мм винипласта), что при одинаковой стоимости единицы массы дает существенную экономию.

***Полипропилен***, как было уже отмечено ранее, обладает удовлетворительной механической прочностью, высоким сопротивлением ударным нагрузкам, повышенной пластичностью, инертностью к большинству химических реагентов. Преимуществом полипропилена является возможность его применения при высокой температуре, что в сочетании с другими свойствами открывает широкие перспективы использования полипропилена не только для футеровки ванн методом вкладыша, но и для изготовления другого оборудования гальванических цехов: бортовых отсосов, вентиляционных коробов, крышек к ваннам, барабанов. Полипропилен уступает по термостойкости и химической стойкости только фторопласту и пентапласту.

Бóльшей теплостойкостью и химической стойкостью обладает ***пентапласт***. Этот химически стойкий "самозатухающий" полимер обладает комплексом ценных физико-механических, теплофизических и антикоррозионных свойств. Покрытия на его основе возможно использовать в весьма агрессивных средах при температуре до 120 °С. По химической стойкости в ряду термопластов пентапласт уступает только фторопластам. Пентапласт устойчив при воздействии растворов кислот и их смесей: фосфорной и плавиковой; соляной и азотной; серной, азотной и плавиковой; соляной и плавиковой. Однако пентапласт нестоек в сильных окислителях: в дымящейся азотной кислоте при температуре

кипения, в олеуме, хлорсульфоновой кислоте и т.д.

Футеровку из пентапласта применяют для защиты ванн хромирования, химического никелирования, травления, пассивирования. На ряде предприятий для химического никелирования используют ванны, изготовленные из листового пентапласта толщиной 2-3 мм и помещённые вместе с обрешеткой из полос нержавеющей стали в пароводяную рубашку.

Внедрение футеровок из пентапластовых листов ограничивается их высокой стоимостью и низкой ударопрочностью.

Для футеровки ванн можно применять такой широко известный полимерный материал, как ***полиэтилен***. В зависимости от метода промышленного производства различают полиэтилен высокого, низкого и среднего давления. В гальванотехнике нашел применение в основном полиэтилен высокого и низкого давления. Из полиэтилена высокого давления изготавливают трубы, фитинги, клеммные коробки, барботёры. При футеровке ванн и нанесении защитного покрытия на металлические поверхности подвесочных приспособлений предпочтение отдают полиэтилену низкого давления, так как он обладает более высокой химической стойкостью и теплостойкостью. Температура размягчения полиэтилена высокого давления 80-90 °С, низкого давления 90-95 °С.

Ванны без слива достаточно просто и удобно футеровать полиэтиленовой плёнкой, предварительно сварив из неё мешок по размеру ванны. Полиэтиленовую футеровку желательно делать многослойной.

***Фторопласт*** (политетрафторэтилен) превосходит другие пластмассы по химическим, механическим свойствам, физическим, в том числе по теплостойкости. В последние годы масштабы его применения и качественные показатели значительно повысились за счёт освоения выпуска новых типов фторопластов, которые в отличие от фторопласта широко известной марки Ф-4 обладают свойствами плавких металлов: они могут экструдироваться, отливаться под давлением, подвергаться сварке плавлением. К таким фторопластам следует отнести Ф-4МБ, Ф-10, Ф-2М, Ф-3М, Ф-26, Ф-40ЛД и др.

Для химического никелирования и электрополирования рекомендуется использовать фторопласты Ф-4МБ в виде плёночного вкладыша.

Листовой фторопласт Ф-2М целесообразно применять для футерования различных ёмкостей, гальванических и травильных ванн, а также для изготовления трубопроводов большого диаметра. Он обладает хо-

рошими формовочными свойствами, гибкостью, ударопрочностью, прочностью при растяжении, свариваемостью. Фторопласт Ф-2М выдерживает такие агрессивные среды, как минеральные кислоты (за исключением дымящей серной кислоты), окислители (концентрированную азотную кислоты), концентрированные щелочи, галогены, углеводороды при температуре от 20 до 130 °С. Изделия из фторопласта Ф-2М могут эксплуатироваться при температурах от -70 до 140 °С.

Высокие химическая стойкость и термостойкость фторопластов позволяют изготавливать из них теплообменники для нагрева и охлаждения очень агрессивных растворов: травления нержавеющих сталей, электрополирования, электролитов хромирования, содержащих фториды, и т.д. Футерование листовым фторопластом позволяет отказаться от применения нержавеющих сталей, дорогостоящих сплавов, а также от малотехнологичных футеровок из свинца и керамических плиток.

***Гуммирование*** – защита внутренних поверхностей стенок ванны с помощью резины – осуществляется мягкой кислотощёлочестойкой резиной. Резиновая футеровка обладает высокой химической стойкостью в растворах серной (до 60%), соляной (до 10%) и практически любой концентрации уксусной и фосфорной кислот. Химическая стойкость резины в указанных растворах до температуры 100 °С весьма высока.

Одним из недостатков гуммирования является необходимость применения клеёв, содержащих токсичные и огнеопасные растворители.

Этого недостатка лишены гуммировочные ***эбонитовые составы*** ГЭС-1 и ЭС-100Т, которые не содержат каких-либо растворителей, не требуют применения клеёв и адгезивов и позволяют получать бесшовные эбонитовые покрытия, однородные по физико-механическим и антикоррозионным свойствам. Составы представляют собой различной вязкости композиции, которые можно наносить кистью, штапелем, обливом или окунанием. Срок их хранения при комнатной температуре практически не ограничен. Покрытия гуммировочными эбонитовыми составами характеризуются низкой степенью набухания в кислотах и щелочах.

Для защиты наружных поверхностей корпусов ванн наибольшее применение находит эмаль ХВ-785 следующих групп: 7/1 - для агрессивных паров, газов, жидкостей; 7/2 - для растворов кислот; 7/3 - для растворов щелочей.

### 1.4. Нагревательные устройства

**Теплоносители**. В гальванических цехах для нагрева растворов в ваннах используют в качестве теплоносителя насыщенный и перегретый пар, электроэнергию, горячую воду.

При рабочих температурах растворов 80–90 °С и ниже применение насыщенного пара является предпочтительным, так как такой способ нагрева является наиболее дешёвым и безопасным.

При отсутствии пара или его нехватке, а также при температуре раствора 100 °С и выше применяют электронагрев. Электронагрев является достаточно эффективным способом нагрева, но менее удобным, так как использование напряжения свыше 36 В требует принятия дополнительных мер электробезопасности.

При наличии перегретого пара растворы в ваннах можно нагревать до температуры 100 °С и выше, хотя применение его и неэкономично, но зато удобно и менее опасно, чем использование электронагрева. Дело в том, что в паровых змеевиках пар отдает ~90 % своего тепла при конденсации в воду. При необходимости же нагрева раствора свыше 100 °С конденсацию пара допускать нельзя, его приходится выпускать наружу при температуре выше рабочей температуры раствора ванны. Следовательно, используется лишь незначительная часть (~10 %) тепла пара. К этому основному недостатку использования перегретого пара добавляется еще и плохая по сравнению с насыщенным паром теплопередача от перегретого пара к металлической стенке парового змеевика. К тому же из-за неизбежных потерь при транспортировке до гальванического цеха перегретый пар, как правило, остывает с 210-240 до 160-180 °С. В силу вышеуказанных причин обогрев перегретым паром с выпуском его в атмосферу без конденсации применяется чрезвычайно редко.

Независимо от теплоносителя нагрев гальванических ванн осуществляется двумя способами: нагревательным элементом, помещённым непосредственно в раствор, и нагревательным элементом, помещённым в водяную рубашку, которая тепло, полученное от нагревательного элемента, передаёт через металлическую стенку ванны рабочему раствору. В случае, если раствор нейтрален по отношению к материалу греющей поверхности нагревательного элемента, применяют первый способ нагрева, если же агрессивен – используют второй способ.

**Нагрев насыщенным паром.** Самым распространённым нагрева-

телем в гальванических цехах является ***паровой змеевик***. Змеевики могут выполняться сварными из отдельных отрезков труб или гнуться из одной трубы.

Для изготовления змеевиков применяют различные материалы в зависимости от состава нагреваемых растворов: углеродистая сталь устойчива против коррозии в щелочных растворах и достаточно устойчива в водопроводной воде; коррозионностойкая хромоникелевая сталь устойчива против коррозии в щелочных растворах, в растворах крепких минеральных кислот при наличии в растворе некоторого количества азотной кислоты, но при отсутствии соляной или плавиковой кислоты; свинец подвергается коррозии в присутствии азотной и соляной кислот; титановые сплавы устойчивы против коррозии в большинстве гальванических растворов, но не годятся для ванн с фторсодержащими растворами, а также для ванн травления в горячей серной кислоте с концентрацией 10-20 %, в соляной кислоте разрушаются за 10-15 дней работы; латунь устойчива против коррозии в растворах фосфорнокислых солей.

Донный змеевик (рис. 1.13) имеет более высокую теплоотдачу, чем змеевик, расположенный у боковых стенок ванны. Однако донный змеевик затрудняет расположение на дне ванны барботёров, препятствует извлечению упавших деталей, ухудшает условия чистки дна ванны, поэтому располагать змеевик на дне ванн не рекомендуется. Кроме того, донный змеевик может выполнять роль биполярного электрода, когда ток будет проходить от нижнего края анода к донному змеевику, через змеевик и далее к покрываемым деталям. В этом случае появляется подгар на их нижних концах.

Змеевик, расположенный у боковой стенки ванны (рис. 1.14), лишён перечисленных выше недостатков.

Змеевики должны быть легкосъёмными для выполнения их ремонта или чистки и ремонта самой ванны. Концы труб змеевиков, выходящие из раствора, имеют вертикальные участки, огибающие борт ванны и крепящиеся к нему. Удаление конденсата из вертикальной трубы змеевика не вызывает затруднения: для этого при глубине ванны 1 м необходимо давление пара всего 10 кПа (0,1 атм).

Змеевики подключаются к линии пара и к линии конденсата через вентили с тем, чтобы в случае демонтажа змеевика не требовалось отключать общецеховую сеть подачи пара. В электролитических ваннах

змеевики нагревателей должны быть изолированы от магистральных трубопроводов с целью предотвращения утечки тока через них.

Основным достоинством способа нагрева ванн ***водяной рубашкой*** (рис.1.15) является отсутствие непосредственного контакта с агрессивной средой материала греющей поверхности нагревателя. В этом случае гальванический раствор нагревается промежуточным теплоносителем – водой, окружающей боковые стенки и дно гальванической ванны. Вода, в свою очередь, нагревается от змеевика 1, изготовленного из углеродистой стали (водогазопроводной трубы).

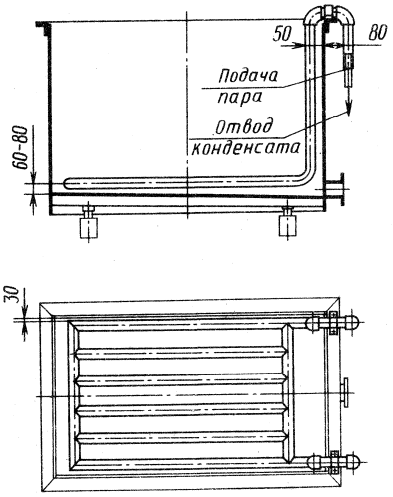



Рис. 1.13. Донный змеевик

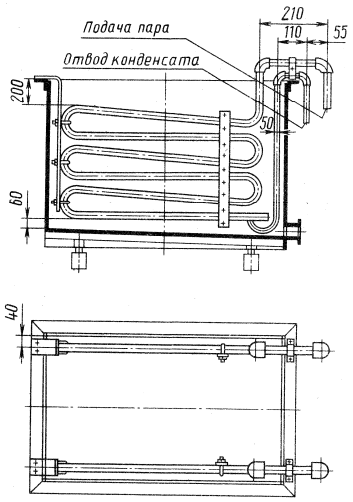



Рис. 1.14. Боковой змеевик

Водяная оболочка (рубашка) размещается в промежутке между стенками вспомогательной (внешней) ванны 2 и рабочей гальванической ванны 3, выполненной из коррозионностойкого материала. Зазор между боковыми стенками составляет 50-100 мм, между днищами – 75-150 мм. Для заполнения рубашки водой используют барботёр 4, вваренный в рубашку на высоте, несколько ниже уровня электролита. Уровень воды в рубашке должен быть несколько выше уровня гальванического раствора и поддерживается нижней кромкой сливного патрубка 5, из которого излишки воды короткой свободной струёй стекают через воронку 6 в канализацию. По изменению цвета стекающей воды можно обнаружить течь в рабочей

ванне. Рабочая ванна ножками 7 опирается на дно ванны рубашки. Верхнее соединение обеих ванн во избежание выброса горячей воды заваривается или герметизируется прокладками. Доступ внутрь рубашки для ремонта трубопроводов не требуется в силу малой агрессивности нагреваемой воды. Слив содержимого рубашки осуществляется через донный патрубок 8. Освобождение рабочей ванны от раствора производится, как правило, с помощью насоса, выполненного из химически стойких материалов, или через патрубок донного слива, приваренный к дну или стенке ванны и проходящий через дно или стенку вспомогательной ванны через специальное уплотнение.

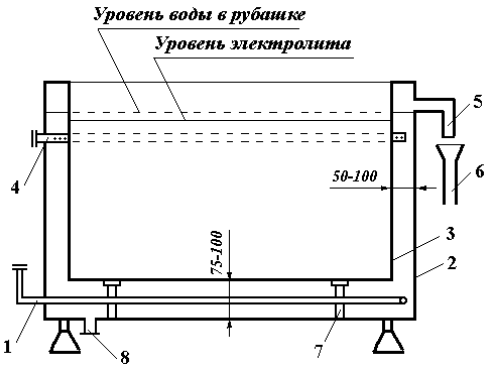



Рис. 1.15. Водяная рубашка: 1 – нагревательный змеевик, 2 – внешняя ванна, 3 – рабочая ванна, 4 – водяной барботёр, 5 – сливной патрубок, 6 – сливная воронка, 7 – опорные ножки, 8 – донный патрубок

Разновидностью нагрева электролита водяной рубашкой является нагрев ***пароводяной рубашкой*** (рис.1.16). При таком нагреве пар и вода поступают в тройник 4, смешиваются в нём, и образовавшаяся горячая вода подаётся в трубу-барботёр 1, проложенный по дну внешней ванны 2. По всей длине

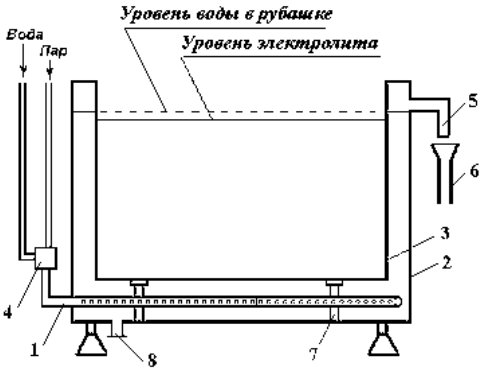



Рис. 1.16. Пароводяная рубашка:
1 – труба-барботёр, 2 – внешняя ванна, 3 – рабочая ванна, 4 – тройник, 5 – сливной патрубок, 6 – сливная воронка, 7 – опорные ножки, 8 – донный патрубок

трубы барботёра по её горизонтальному диаметру просверлены сквозные отверстия. Диаметр отверстий по мере удаления от начала трубы к её заваренному наглухо концу увеличивается от 2 до 4 мм для малых ванн и от 3 до 6 мм для больших ванн. Сумма площадей всех отверстий должна быть примерно в 3 раза больше сечения трубы барботёра. Поступившая в рубашку через барботёр вода и сконденсированный пар удаляются через сливной патрубок 5, приваренный к противоположной входу барботёра в рубашку стенке на высоте, несколько выше уровня электролита. Места входа и выхода труб в стенках рубашки должны быть герметично проварены. Сечение сливной трубы принимается примерно в 4 раза больше сечения трубы барботёра (диаметр – вдвое больше). Сливной патрубок не должен быть жёстко соединён с канализационной трубой 6, что заменяет электрическую изоляцию и помогает своевременно обнаружить течь рабочей ванны по изменению цвета сливающейся воды.

Пароводяная рубашка греет несколько медленнее, чем паровой змеевик, но при правильно выбранном объёме она несравненно устойчивее и точнее поддерживает заданную температуру раствора в ванне. Рекомендуется выбирать объём рубашки в пределах 40-60 % от объёма рабочего раствора, а уровень воды в рубашке должен быть равным или несколько выше уровня технологического раствора. При таких условиях легко удаётся поддерживать, например, температуру электролита хромирования с точностью ±1 °С, измеряя её примерно каждые полчаса.

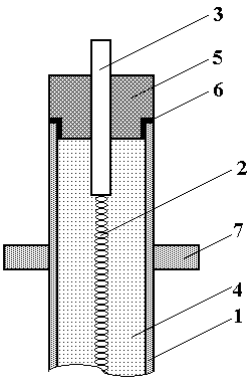


Рис. 1.17. Трубчатый электронагреватель: 1 – оболочка, 2 – спираль, 3 – контактный стержень, 4 – наполнитель, 5 – изолятор, 6 – герметик, 7 – крепежное устройство

**Нагрев трубчатыми электронагревателями (ТЭН).** При проектировании блоков электронагревателей и правильной их установки в ваннах необходимо знать следующие требования к их монтажу и эксплуатации. Трубчатый электронагреватель (рис.1.17) состоит из тонкостенной металлической трубчатой оболочки 1, которая может иметь различную конфигурацию. Внутри оболочки

помещается спираль 2 из проволоки высокого удельного электрического сопротивления, концы которой соединены с контактными стержнями 3, выступающими из трубчатой оболочки. Пространство между спиралью и оболочкой заполнено наполнителем 4 с высокими диэлектрическими характеристиками, как правило, периклазом (кристаллической окисью магния). Контактные стержни заделаны в изоляторы 5. Торцы электронагревателей заполняются влагозащитным термостойким лаком (герметиком) 6. Герметик предохраняет наполнитель от проникновения влаги и сохраняет его электроизоляционные свойства при температуре в зоне герметизации до 120 °С. Некоторые ТЭНы имеют крепёжные устройства 7 в виде штуцеров или планок, соединённых с оболочкой различными способами: сваркой, пайкой, прессовкой. Крепление ТЭНов, не имеющих крепёжной арматуры, за контактные стержни категорически запрещается.

Для нагрева воды, слабых растворов щелочей и кислот оболочки ТЭНов изготавливают из меди, латуни, углеродистой или коррозионностойкой стали. Для нагрева агрессивных сред ТЭНы выполняют с жаропрочной коррозионностойкой оболочкой. Материал оболочки ТЭНов должен обязательно соответствовать той среде, для работы в которой он предназначен. В отсутствии ТЭНов с коррозионностойкой оболочкой лучше всего сделать ванну с водяной рубашкой, в которую опустить ТЭНы с обычной оболочкой, тщательно выполнив защитные козырьки над клеммами нагревателей.

При применении электрического тока с напряжением выше 36 В корпус ванны и оболочка электронагревателя должны быть заземлены. При подключении ТЭНов подтягивать контактные гайки следует осторожно, не допуская проворачивания контактных стержней. Попадание влаги на эти стержни не допускается, поэтому сверху блок электронагревателей герметично закрывается крышкой с уплотнительной прокладкой. При проектировании узлов крепления ТЭНов необходимо обеспечить температуру в зоне узла герметизации не более 120 °С. Для улучшения съёма тепла с поверхности ТЭНов они не должны соприкасаться друг с другом. Минимальное расстояние между их оболочками должно быть 30-50 мм.

**Нагрев джоулевой теплотой**. Джоулева теплота – это количество теплоты (Дж), выделяющейся в твёрдом или жидком проводнике при прохождении через него тока, и равное

$$Q_{Дж} = U \cdot I \cdot \tau ,$$

где $U$ – напряжение, В; $I$ – сила тока, А; $\tau$ – время прохождения тока, с.

В ваннах, работающих при больших объёмных плотностях тока (сила тока в А на 1 л объёма ванны), величина джоулевой теплоты довольно значительна. Так, например, при объёмной плотности тока около 2 А на 1 л электролита хромирования в условиях работающей вентиляции и открытом зеркале раствора джоулева теплота компенсирует потери теплоты ванны хромирования и температура электролита устойчиво поддерживается около 55 °С. При меньших объёмных плотностях тока ванну приходится подогревать, а при больших – охлаждать. Джоулевой теплотой можно не только поддерживать рабочую температуру электролита, но и разогревать его. Для этого перед нанесением покрытия проводят электролиз на посторонних катодах (стальных листах, бракованных деталях) при высокой объёмной плотности тока.

**Расчёт нагревателей** начинается с определения количества теплоты, которое нужно подвести к ванне для её разогрева до рабочей температуры конкретного процесса, затем – количества теплоты, необходимого для поддержания заданной температуры:

$$Q = Q_{разогрев} + Q_{поддерж}$$

При нагреве ванны тепло ($Q_{разогрев}$) расходуется на нагрев электролита, анодов, на восполнение потерь тепла через зеркало раствора и через стенки и дно ванны:

$$Q_{разогрев} = Q_{эл} + Q_{аноды} + Q_{зеркало} + Q_{стенки}$$

В процессе работы ванны тепло ($Q_{поддерж}$) расходуется на нагрев деталей и подвесочных приспособлений, на восполнение потерь тепла через зеркало раствора, стенки и дно ванны, а в случае барботажа электролита – на восполнение потерь тепла с барботируемым воздухом. При этом учитывается джоулевое тепло:

$$Q_{поддерж} = Q_{детали} + Q_{зеркало} + Q_{стенки} + Q_{барботаж} - Q_{Дж}$$

Для оценки всех статей расхода тепла необходимо учитывать как теплотехнические характеристики растворов, материала ванн, окружающего воздуха, так и условия проведения процесса. В реальных гальванических цехах при подогреве растворов наиболее часто встречаются следующие условия:

– температура воздуха в помещении цеха 20 °С;

– разогрев ведётся от начальной температуры раствора 20 °С до рабочей температуры не выше 70 °С;

– принудительная вентиляция со скоростью протока воздуха над зеркалом раствора порядка 6 м/с;

– отсутствие какого-либо укрытия зеркала раствора (крышек, поплавков, пены и т.п.);

– отсутствие тепловой изоляции стенок ванны.

Если фактические условия работы ванны существенно отличаются от вышеуказанных, то рекомендуется вести расчёт не по приведённым ниже упрощённым уравнениям, а составить полный тепловой баланс.

Гальванику очень редко приходится делать тепловые расчёты ванн с учётом всех статей расхода теплоты. Это объясняется двумя причинами.

Во-первых, в условиях производственного гальванического цеха затруднительно, а часто и невозможно, точно определить все параметры, необходимые для детального расчёта. Например, редко можно рассчитывать на поступление пара или горячей воды с постоянной расчётной теплопроизводительностью и на постоянные условия отвода тепла от ванн, а также трудно учесть все конструктивные особенности оборудования, в частности, величину воздушного зазора между футеровкой и стенками ванн и т. д.

Во-вторых, даже наиболее важные параметры практически колеблются в значительно бóльших пределах, чем расхождения, вызываемые предлагаемыми упрощениями при теоретических расчётах.

Поэтому цеховому инженеру проще и выгоднее рассчитать нагреватель только по главнейшим статьям расхода теплоты, но с *небольшим запасом*, и в случае надобности прикрыть паровой вентиль или выключить ток. Такой небольшой запас мощности, заложенный в предлагаемых способах расчёта, позволяет отклониться от принятых в начале условий нагрева ванны. Исключение могут представлять такие специальные случаи, как расчёт многотысячелитровых ванн для конвейерных автоматов или ванн для обработки чрезвычайно массивных предметов, например, прокатных валов. Но такие сложные установки обычно проектируются и рассчитываются не в цехе, а в проектных институтах.

Для упрощения расчёта пренебрегаем потерями теплоты на нагрев анодов и деталей, а также потерями теплоты при перемешивании раствора сжатым воздухом, но зато пренебрегаем и поступлением джоулевой теплоты, полагая, что в подавляющем большинстве случаев эти величины малы по сравнению с приведёнными выше основными статьями

теплового баланса. Тогда количество теплоты (кДж), которое следует подводить каждый час к ванне, при наличии принудительной вентиляции составит:

$$Q = 270\frac{m}{\tau} + 610\,S + 130\ 000\frac{F}{\tau}, \qquad (1.1)$$

а при отсутствии принудительной вентиляции

$$Q = 270\frac{m}{\tau} + 610\,S, \qquad (1.2)$$

где $m$ – масса раствора в ванне, кг; $\tau$ – время разогрева ванны до рабочей температуры, ч (обычно $\tau$ = 1÷3 ч); $S$ – площадь стенок и дна ванны, м$^2$; $F$ – площадь зеркала раствора, м$^2$.

*Расчёт парового нагревательного змеевика* для нагрева раствора ванны с 20 до 70 °С насыщенным паром под давлением 200 кПа (2 атм) можно произвести по следующим приближённым уравнениям:

длина (м) трубы змеевика

$$\ell = 0{,}037\sqrt{Q}, \qquad (1.3)$$

внутренний диаметр (мм) трубы змеевика

$$d = 0{,}044\sqrt{Q}, \qquad (1.4)$$

где $Q$ – количество теплоты (кДж), которое нужно подводить к ванне за каждый час разогрева, вычисляемое по уравнению (1.1) или (1.2).

Полученный из уравнения (1.4) расчётный внутренний диаметр трубы заменяют ближайшим бóльшим из предусмотренных стандартами на трубы.

Формулами (1.3) и (1.4) можно пользоваться и при условиях, несколько отличающихся от вышеуказанных условий, но для нагрева ванны до 90-100 °С следует увеличить длину трубы змеевика в 1,5 раза.

С учётом ранее высказанных рекомендаций о выборе объёма *пароводяной рубашки* в пределах 40-60 % от объёма рабочего раствора приводим приближённый расчёт *трубы барботёра*, достаточно точный для практических целей.

Сначала подсчитывают количество теплоты $Q$ (кДж), которое нужно подводить к ванне ежечасно, чтобы разогреть её за $\tau$ часов до рабочей температуры 70 °С. Расчёт ведут по уравнению, аналогичному уравнению (1.1), но коэффициент при втором члене здесь будет больше из-за наличия пароводяной рубашки:

при наличии принудительной вентиляции

$$Q = 270\frac{m}{\tau} + 38\,100\ S + 130\,000\frac{F}{\tau}, \quad (1.5)$$

при отсутствии принудительной вентиляции

$$Q = 270\frac{m}{\tau} + 38\,100\ S, \quad (1.6)$$

где $m$ – масса раствора в рабочей ванне, кг; $S$ – площадь поверхности стенок и дна рабочей ванны, м$^2$; $F$ – площадь поверхности зеркала раствора в рабочей ванне, м$^2$; $\tau$ – продолжительность разогрева ванны до рабочей температуры, ч.

Принимаем, что вода после смешивания с паром входит в барботёр при 100 °С, а выходит из рубашки при 80 °С. Тогда внутренний диаметр (мм) трубы барботёра, способной пропустить нужное часовое количество воды с паром, рассчитывается по формуле

$$d = 0{,}054\sqrt{Q}, \quad (1.7)$$

где $Q$ – количество теплоты (кДж), которое необходимо подвести к ванне за каждый час разогрева, вычисляемое по уравнению (1.5) или (1.6).

При подборе *ТЭНов* необходимо в первую очередь учесть соответствие их габаритов и формы геометрическим размерам ванн, после чего перевести рассчитанное по вышеприведённым формулам требуемое количество теплоты из кДж в кВт·ч (1 кВт·ч = 3600 кДж) и подсчитать количество необходимых ТЭНов (мощность ТЭНов указана в кВт). Как правило, электрический нагреватель рассчитан на напряжение выше 36 В, поэтому ванну с таким нагревателем нужно установить в наиболее сухом месте, корпус её тщательно заземлить и выключать нагреватель (все питающие его провода) при загрузке и выгрузке деталей. Это отключение желательно автоматизировать.

### 1.5. Конструктивные модули гальванических ванн

К конструктивным модулям гальванических ванн относят различного рода перемешиватели растворов, электродные штанги, опорыловители электродных штанг, регуляторы уровня раствора в ваннах.

**Перемешиватели растворов** предназначены для перемешивания технологических растворов с целью создания однородной среды по всему объёму гальванической ванны. Различаются гидравлические, пневматические и механические перемешиватели.

Гидравлическое перемешивание осуществляется с помощью эжектора: поток электролита, подающийся в эжектор циркуляционным насо-

сом, увлекает за собой электролит из ванны, вследствие чего на выходе эжектора формируется в несколько раз бóльший поток электролита.

В качестве пневматического перемешивателя применяется барботёр – труба с отверстиями диаметром 1,1-1,5 мм с увеличением диаметра отверстий по мере приближения к её концу. Суммарная площадь отверстий должна быть в 1,5-1,8 раза меньше площади сечения трубы. В зависимости от состава электролита и его температуры барботёры выполняются из углеродистой или нержавеющей стали, титана, винипласта, полиэтилена, полипропилена. Недостатки барботёра – неравномерное перемешивание, пенообразование, потери тепла, снижение электропроводности электролита за счёт его газонаполнения.

Механические перемешиватели снабжены крыльчаткой с электрическим или пневматическим приводом и применяются редко.

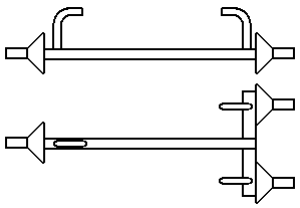


**Рис. 1.18. Электродные штанги**

**Электродные штанги** (рис.1.18) предназначены для крепления подвесок с обрабатываемыми деталями и анодов. Применяют штанги круглого и прямоугольного сечения длиной не более 2 м. Диаметр штанг круглого сечения 25-40 мм. При одинаковой площади поперечного сечения прямоугольная штанга имеет момент сопротивления изгибу в несколько раз больший, чем штанга круглого сечения.

Для латунных штанг плотность тока по сечению штанги 0,5 А/мм$^2$, для медных – 1,5-2,0 А/мм$^2$. Катодные штанги снабжены транспортными кронштейнами для их переноса с помощью манипуляторов. Кронштейны должны быть изолированы от штанг. Для механического крепления подвесок с деталями или анодов на штангах прямоугольного сечения с обеспечением надёжного контакта служат устройства типа "ласточкин хвост".

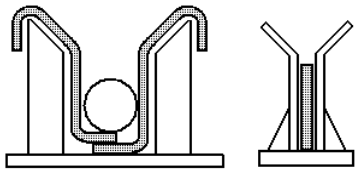


Рис. 1.19. Опоры-ловители электродных штанг

**Опоры-ловители электродных штанг** (рис. 1.19) служат для обеспечения точной установки электродных штанг на ваннах и для создания надёжного электрическо-

го контакта со штангами. Устанавливаются непосредственно на бортах ванн или на специальных металлоконструкциях, стоящих отдельно от ванн. Опоры электрохимических ванн должны быть изолированы от их корпусов. Токовая опора с прижимным устройством (самозачищающаяся) для штанг прямо-угольного сечения обеспечивает передачу на штангу тока до 2000 А.

**Регуляторы уровня раствора в ваннах**. Предназначены для поддержания уровня раствора гальванических ванн в заданных пределах. В поплавковом устройстве поплавок через рычаг управляет электроконтактным устройством, регулирующим подачу воды или раствора. В качестве устройств контроля уровня используют герконы, установленные возле стеклянной или винипластовой трубы с поплавком.

## 2. Подвесочные приспособления

Назначение подвесочных приспособлений заключается как в завешивании деталей в ванне, так и в подводе к ним тока. К подвесочным приспособлениям предъявляются ряд важных требований. Они должны:

– позволять быстро монтировать детали;

– надёжно крепить детали, чтобы они не свалились с подвески при переносе и не теряли надёжного электрического контакта с ней при интенсивном перемешивании раствора, газовыделении, случайных толчках и т.п.;

– обеспечивать возможно более равномерное распределение тока по поверхности деталей, что содействует получению более равномерного по толщине и свойствам покрытия;

– исключать экранирование деталей друг другом;

– позволять загружать ванну возможно бóльшим количеством деталей;

– быть по возможности дешёвыми и простыми в изготовлении и ремонте;

– быть удобными в работе, при переноске, при монтаже и демонтаже деталей, при хранении;

– позволять обрабатывать детали по возможности на всех операциях гальванического процесса с минимальным количеством перемонтировок на другие приспособления.

Сконструировать приспособление, отвечающее всем этим требованиям, – дело нелёгкое. Следует считать вполне нормальным, если приходится сделать и опробовать в работе несколько вариантов, отбросить неудачные и остановиться на лучшем, особенно для сложных деталей. Очень немногие детали подвесочных приспособлений поддаются простому и точному расчёту. При конструировании приспособлений гальванику почти всегда приходится полагаться на свое чутьё, основанное на внимательном наблюдении за поведением деталей при их переноске и загрузке в ванну, а также при их обработке в ваннах, за устойчивостью ориентации деталей и надёжностью контактов.

### 2.1. Типы приспособлений для подвешивания деталей в ваннах

Самый старый и трудоёмкий способ подвешивания деталей – это навязывание их на проволоку, обычно по несколько штук "косичкой". Этот способ нарушает многие требования, предъявляемые к подвешиванию. Кроме того, он очёнь трудоёмок. Подвешивание (индивидуальное) крупных деталей на проволоку можно допустить только при штучных, неповторяющихся работах. Во всех других случаях оправдывается изготовление иногда специальных, а часто относительно универсальных подвесочных приспособлений.

Наиболее универсальными и часто применяемыми типами подвесочных приспособлений (подвесок) являются "ёлочка" и "рамка" (рис.2.1).

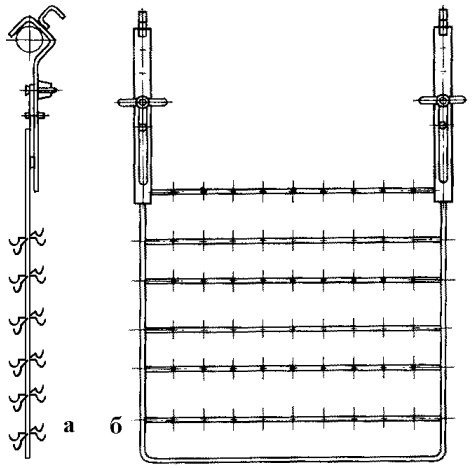



Рис. 2.1. Подвески "ёлочного" (а) и "рамочного" (б) типов

"Ёлочка" представляет собой вертикальный стержень с подвесным крюком, которым она вешается на штангу ванны (рис. 2.1а). Контакты для крепления деталей расположены на нескольких "этажах" в плоскостях, перпендикулярных вертикальному стержню. Контакты для деталей на каждом "этаже" располагают симметрично по 2, 4 или 6 шт., редко больше. Иногда их в каждом следующем "этаже" смещают на некоторый угол по отношению к контактам предыдущего "этажа" во избежание возможного касания висящих на них деталей.

Характерными недостатками "ёлочки" являются, во-первых, то, что детали одного "этажа" расположены под разным углом к плоскости анода (или катода); во-вторых – невозможность завешивать крупные детали, особенно на боковые контактные крючки.

Достоинством "ёлочки" является то, что благодаря её малому диаметру возможно использовать практически всю длину катодной (анод-

ной) штанги ванны.

"Рамка" (рис. 2.1б) представляет собой прямоугольник, вертикальные боковые стороны которого образованы стержнями подвесных крюков, а горизонтальные стороны и несколько горизонтальных поперечин между ними несут на себе контакты для подвешивания деталей. Самая верхняя и самая нижняя поперечины, близкие к зеркалу раствора и ко дну ванны, иногда не имеют контактных крючков. Необязательно, чтобы боковые стороны рамки являлись стержнями подвесных крюков. Крюки по краям рамки могут быть и не прикреплены, что иногда может быть даже выгодным с точки зрения распределения тока, хотя менее удобно конструктивно.

Главное достоинство "рамки" по сравнению с "ёлочкой" заключается в том, что все висящие на рамке детали одинаково ориентированы по отношению к анодам. Это очень важное условие для получения покрытия возможно более равномерного по качеству, толщине, свойствам и внешнему виду. Второе достоинство "рамки" – "универсальность", т.е. конструктивная лёгкость превращения её в сложное подвесочное приспособление при монтаже на ней дополнительных устройств (экранов, защитных катодов, вспомогательных анодов и т. п.). И третьим достоинством является возможность сделать её значительно более вместительной по количеству и площади умещающихся на ней деталей, чем "ёлочка", что существенно повышает производительность труда.

Недостатком "рамки" можно считать необходимость увязывания её размеров с длиной штанг ванны, чтобы она умещалась во всех ваннах линии с возможно более полным использованием их длины. При разногабаритных ваннах в линии выбор размеров подвесок иногда бывает затруднительным (впрочем, особенно точной подгонки не требуется).

### 2.2. Конструирование подвесочных приспособлений

**Размеры подвесочных приспособлений**. Подвесочные приспособления, независимо от их типа, выбираются так, чтобы расстояние от дна ванны (или от металлического змеевика на дне) до нижнего края висящих на приспособлении деталей было не менее 100-200 мм, а расстояние от верхнего края деталей до зеркала раствора – не менее 50 мм (рис. 2.2). Необходимость зазора от низа подвесочного приспособления до дна вызвана опасностью взмучивания шлама со дна ванны. Кроме того в ваннах с горячими растворами при отсутствии перемешивания и

из-за отсутствия теплоизоляции дна ванн часто наблюдается снижение температуры придонной части раствора. Зазор между уровнем электролита в ванне и верхом деталей нужен на случай понижения уровня за счёт испарения и иногда для устранения осаждения на деталях пыли или иных загрязнений, попадающих на поверхность электролита.

Расстояние между соседними подвесками типа "ёлочки" должно быть таким, чтобы зазор между деталями на соседних краях висящих рядом приспособлений был не меньше диаметра этажа "ёлочки". Подвески типа "рамки" можно вешать практически вплотную одну к другой при условии, если соблюдено нормальное расстояние между крайними деталями. Между крайней деталью и торцевой стенкой ванны зазор должен быть не менее 100 мм при непроводящей футеровке стенки и не менее 200 мм при токопроводящей стенке.

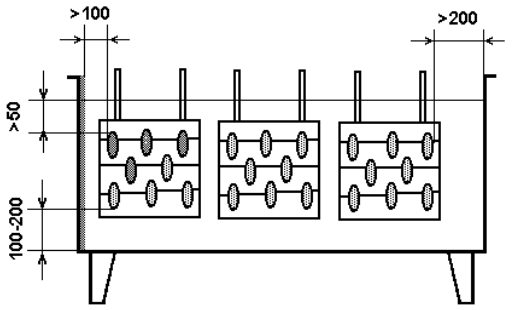


Рис. 2.2. Расположение подвесок внутри ванны

**Подвесные крюки.** Подвесные крюки подвесочного приспособления должны иметь надёжный контакт с токонесущей штангой, который обеспечивается максимальной площадью их соприкосновения. В противном случае подвесной крюк может перегреваться, а иногда (например, при хромировании) накаляться докрасна, нарушая тем самым токовые режимы и распределение тока между подвесками.

На рис. 2.3 показаны правильная (а) и неправильная (б) формы крюков. Преимущество прямоугольного крюка по сравнению с загнутым по дуге крюком состоит в том, что контакт со штангой осуществляется не по одной линии или точке, а по двум, что заметно

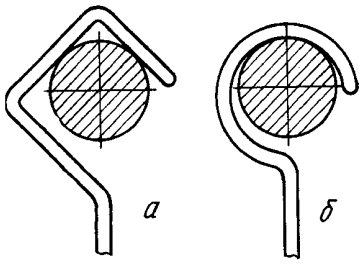


Рис. 2.3. Форма подвесных крюков: а – правильная, б – неправильная

улучшает условия прохождения тока.

"**Ручки**". Для переноса, завешивания в ванну и выгрузки подвесочного приспособления нужна ручка, за которую его удобно взять, не задевая за висящие на подвеске детали, не окуная руку в электролит и не обжигаясь о стержень подвески, который при больших токах может весьма существенно нагреться. Такая ручка может быть выполнена (рис. 2.4) в виде приваренного к верхней части подвесного крюка 2 небольшого проволочного крючка 1, загнутого так, чтобы за него удобно было взяться одним или двумя пальцами в толстой резиновой перчатке (такая ручка пригодна и для анодного крюка и для крюков «елочки» и «рамки»).

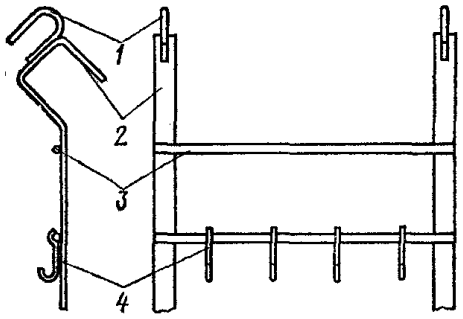



Рис. 2.4. Форма ручек у подвесок: 1 – ручка, 2 – подвесной крюк, 3 – горизонтальный пруток, 4 – контакт

В качестве простой и удобной ручки у "рамки" может служить горизонтальный пруток 3, приваренный к стержням обоих подвесных крюков на таком расстоянии, чтобы он пришёлся выше уровня электролита при висящем в ванне подвесочном приспособлении, но и не слишком близко к подвесному крюку 2 (чтобы штанга ванны не мешала взяться за него рукой). Оба типа ручек достаточно удобны, оба (в особенности – пруток) практически не нагреваются, но первый тип немного удобнее при завешивании, а второй – при переносе (подвеску можно нести одной рукой). Учитывая чрезвычайную простоту изготовления ручек обоих типов, можно рекомендовать снабжать подвески-рамки ручками обоих типов одновременно.

**Контакты и их крепление**. Контакты для крепления деталей на подвесках выполняются в виде крючков (рис. 2.4 и 2.5 а) и пружин (рис. 2.5 б, в и 2.6). Контакты подвесочных приспособлений должны не только надёжно подводить ток к деталям, но и прочно удерживать их на подвеске, чтобы их не сбросило при газообразовании или перемешивании раствора ванны или от сотрясения при переноске. Контакты не мо-

гут быть изолированы, поэтому на них неизбежно нарастает металл, затрудняющий прохождение тока между подвесочным приспособлением и деталью. Контакты вследствие своего выступающего положения при неосторожном обращении с подвесочными приспособлениями очень часто ломаются. Кроме того, во многих электролитах в результате наводороживания стальные контакты становятся хрупкими. Поэтому контакты должны, с одной стороны, быть прочно закреплёнными в стержне или в каркасе подвесочного приспособления, с другой – быть легко заменяемыми при поломке или износе.

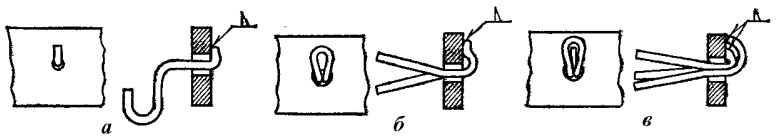



Рис. 2.5. Способы крепления контактов: а – контакт из одной, б – контакт из двух, в – контакт из трёх проволочек

Крепление контактов – это наиболее сложная задача при конструировании подвесочного приспособления. Практикующаяся иногда простая укладка контактных проволочек в отверстие в каркасе приспособления абсолютно недопустима, она не обеспечивает надёжного электрического контакта вследствие наличия плёнок, образующихся из продуктов коррозии и засохшего электролита. Неудобно и резьбовое крепление (винтом или непосредственным ввинчиванием нарезанного конца контактной проволочки в отверстие) вследствие "неразборности" такого соединения после неизбежной коррозии. Единственными надёжными средствами являются сварка (дуговая или точечная) и пайка твёрдым или мягким припоем. Впрочем пайка мягким припоем иногда оказывается недостаточно прочной.

Чтобы уменьшить изгибающий момент в месте приварки или припайки, ведущий к частому отлому контакта, следует приваривать или припаивать проволочки контакта не с лицевой стороны подвески, а с задней. Пропустив проволочку возможно плотнее через отверстие в каркасе приспособления, надо приварить или припаять её кончик на задней стороне каркаса (рис. 2.5 а,б). Заслуживает внимания встречающееся в литературе предложение делать контакт из трёх проволочек

одинакового диаметра, введённых в одно отверстие, задние концы которых загнуты и приварены или припаяны на задней стороне каркаса подвесочного приспособления (рис. 2.5 в). Свободные (рабочие) концы проволочек контакта могут быть использованы как угодно: либо все, либо часть из них может быть загнута в крючки или использована как пружинящий контакт с натягом, каждая в своём отверстии детали или по две в одном – это уже зависит от назначения контакта и профиля детали. Кроме того, три проволочки более плотно и более устойчиво укладываются в отверстии в планке каркаса подвески, чем одна или две. Совершенно плотной укладки проволочек не требуется, хотя она и желательна.

**Крепление деталей на контактах**. Концы контактных проволочек могут быть выполнены в виде простого крючка, если детали достаточно тяжёлые (чтобы их не подбрасывало выделяющимися при электролизе газами или при перемешивании электролита) и если сила тока, приходящаяся на деталь, не очень велика. При лёгких деталях с большой поверхностью надёжнее пружинящие контакты (рис. 2.6), обеспечивающие и хороший подвод тока, и достаточно жёсткую и неизменную ориентацию детали на подвеске. Пружинящие контакты могут состоять из двух или более проволочек, концы которых ("усики") предварительно несколько разведены. Сжав, их можно завести с некоторым натягом в одно общее отверстие в детали или, наоборот предварительно сжатые – раздвинуть и завести под натягом в два разные отверстия в детали. Существуют и могут быть дополнительно разработаны применительно к разным специфическим деталям многие другие типы пружинящих контактов, примеры которых можно найти в большинстве руководств по гальванотехнике, поэтому подробнее останавливаться на них нет надобности.

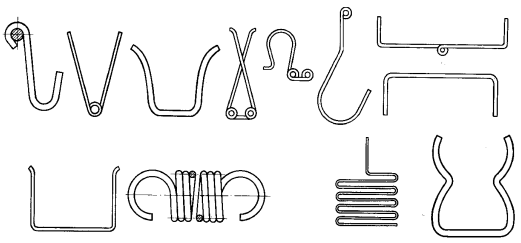


Рис. 2.6. Контакты-держатели деталей

**Материалы для изготовления подвесочных приспособлений**. Для анодных процессов применяются подвесочные приспособления из

титана; они пригодны практически для всех операций анодной обработки, за исключением редко применяемых электролитов с большим содержанием фтор-иона. Чистые титановые сплавы являются идеальным материалом для подвесочных приспособлений по следующим причинам:

– тонкая непроводящая оксидная пленка, образующаяся на поверхности титана, способна существенно снижать своё электрическое сопротивление в местах, подвергающихся относительно большому удельному давлению, например, в месте контакта с деталью;

– титан имеет высокую коррозионную стойкость в растворах серной и хромовой кислот, благодаря чему подвески могут служить длительное время и исключается загрязнение электролита;

– отпадает необходимость в травлении подвесок после каждой операции анодирования, как это требуется при изготовлении подвесок из алюминиевых сплавов.

В целях экономии титана его часто используют лишь для изготовления контактов, а все другие элементы подвесок изготавливают из алюминия, причём состав его также должен быть более высокой чистоты, чем состав материала детали, так как в противном случае возможно перераспределение тока, который повышается на элементах подвески. Для некоторых анодных процессов (анодное оксидирование и электрохимическое полирование алюминия) годятся подвесочные приспособления из алюминия, а лучше – из дюралюминия, поскольку контакты из чистого алюминия нежёстки и неупруги.

Изготавливать подвесочные приспособления для катодных процессов из меди или латуни не имеет смысла, разве что при очень больших токовых нагрузках, так как при изготовлении подвесок из медных сплавов применяется пайка мягким или твёрдым припоем, что сравнительно трудоёмко.

Наиболее удобным, экономичным и простым материалом для изготовления подвесочных приспособлений для катодных процессов является железо (малоуглеродистая сталь). Этот металл легко сваривается любым способом, вполне стоек в щелочных и хромовокислых растворах. Большую часть поверхности подвесок (кроме контактов) следует покрыть изоляцией для экономии тока и анодного металла. Оголённое железо на контактах вновь изготовленной или свежеочищенной подвески не более опасно для чистоты электролита ванны или для сохранности

самой подвески, чем железо завешенной в ванну детали.

Существенным дефектом железа является его ржавление во влажном воздухе гальванического цеха. Вызванное коррозией во влажном воздухе повышение переходного сопротивления контактов легко устраняется предварительным покрытием всего подвесочного приспособления и, в первую очередь, его подвесных крюков каким-нибудь гальванически осаждаемым металлом, лучше всего никелем или оловом. Для защиты контактов более чем достаточно слоя металла, который осаждается на них при эксплуатации подвески; периодически его необходимо даже стравливать, так как его многослойные наросты обладают плохой электропроводностью из-за часто наблюдаемого образования между слоями покрываемого металла пассивных плёнок с повышенным электросопротивлением. Не следует снимать наросты механическими способами – это трудоёмко и ведёт к повреждению подвески.

Нанесение токонепроводящих защитных покрытий на конструктивные элементы подвесочных приспособлений производится как с целью защиты их от коррозии и предотвращения загрязнения электролитов и растворов, так и для предотвращения осаждения на них покрытий в катодных и окисления металлоконструкций в анодных процессах.

В практике гальванических производств нашли применение разные способы нанесения изоляционных покрытий: липкой лентой из поливинилхлорида или полиэтилена; порошковыми материалами – полиэтиленом, фторопластами, полиамидами и эпоксидными красками; пластизольными материалами.

Для подвесочных приспособлений сложной конструкции предпочтительней применять полимерные материалы жидкого и порошкового типа. Широкое использование для изоляции подвесок нашёл пластифицированный поливинилхлорид (пластизоль). Пластизоли поставляются в готовом для использования виде под общим названием "диплазоли".

Полиэтилен по сравнению с пластизолем имеет несколько худшие эксплуатационные характеристики: низкую температуру эксплуатации (до 60°С), склонность к растрескиванию и другие недостатки.

Эпоксидные покрытия малостойки при повышенной температуре в щелочных растворах.

**Электрический расчёт подвесочных приспособлений**. Для расчёта допустимой электрической нагрузки током на поперечное сечение деталей подвески, находящихся выше уровня раствора, можно принять

следующие ориентировочные величины:

для меди 6-8 А/мм$^2$;

для алюминия 4,0-4,5 А/мм$^2$;

для латуни 3 А/мм$^2$;

для углеродистой стали 2 А/мм$^2$;

для титана 1 А/мм$^2$;

для коррозионностойкой стали 0,5-0,6 А/мм$^2$.

Цифры эти очень приближённы и могут существенно меняться как в меньшую, так и в большую сторону в зависимости от условий работы подвески, профиля сечения элементов подвески, от которого зависит интенсивность охлаждения подвесочного приспособления окружающим воздухом, температуры ванны, интенсивности её вентиляции и т.п. Ниже уровня электролита допустимая электрическая нагрузка может быть в три-четыре раза выше, чем для непогруженных в электролит участков подвески.

Грубая ошибка в расчёте сечения подвесочного приспособления маловероятна. Намного чаще гальванику приходится сталкиваться с разогревом подвесного крюка подвесочного приспособления в ваннах, работающих при большой плотности тока, например в ваннах хромирования и электрохимического обезжиривания. Вследствие повышенного контактного сопротивления, вызванного малой площадью контакта или загрязнённостью штанги, происходит разогрев металла. В свою очередь сопротивление нагревшегося металла увеличивается, а вследствие этого увеличивается и его дальнейший нагрев, иногда вплоть до сгорания. В таких случаях подвесной крюк обычно охлаждают струёй воды, что снижает сопротивление контакта и позволяет (часто на продолжительный срок) прекратить его разогрев. Правильным решением задачи будет увеличение площади контакта между подвесным крюком и штангой. Если крюк выполнен из круглого прутка, то желательно снять фаску на внутренней поверхности крюка (в месте его контакта со штангой). Крюки выгоднее делать из металлической полосы. Размеры крюка не поддаются точному расчёту, поэтому практически приходится пользоваться старым эмпирическим способом – если крюк сильно нагревается, его надо сделать шире.

### 2.3. Принципы рационального размещения деталей на подвесках

**Расположение деталей на подвесках**. При определении опти-

мального размещения деталей на подвеске необходимо руководствоваться следующими соображениями.

1) Детали должны быть расположены на подвеске так, чтобы обеспечить наиболее равномерное распределение тока по их поверхности. Все острия и резкие выступы должны быть направлены вверх или в сторону промежутка между двумя висящими напротив подвески анодами. Такие склонные к подгару места могут быть защищены соседней деталью или близко расположенным неизолированным участком подвески, которые будут отвлекать на себя часть тока, идущего к защищаемым местам детали. В тех случаях, когда все эти средства оказываются недостаточными или неприменимыми, применяют дополнительные аноды, биполярные электроды и экраны.

2) Детали на подвеске не должны экранировать друг друга. При завешивании деталей на подвеске в двух плоскостях детали одной плоскости должны располагаться напротив зазора между деталями в другой плоскости. Зазор между плоскостями делать как можно большим. Такой способ завешивания можно применять в том случае, когда габариты деталей невелики по сравнению с зазорами между плоскостями (например, изделия из прутка) или когда качество покрытия оборотной стороны детали не регламентируется. В большинстве случаев предпочтительно навешивание деталей в одной плоскости.

3) Расстояния между плоскими деталями могут быть небольшими, порядка 15-30 мм. Детали цилиндрической формы должны находиться друг от друга на расстоянии:

– 1-2 радиусов деталей при нанесении защитных покрытиях;

– 1-2 диаметров деталей при декоративном хромировании;

– 2-3 диаметров деталей при твёрдом хромировании.

4) Детали должны быть хорошо закреплены на подвеске, для чего в большинстве случаев детали крепятся на двух контактных крючках или на одном, но широком крючке.

5) При стремлении обеспечить максимальное заполнение подвески деталями не следует допускать перегрузки её как по механической прочности подвесочной конструкции, так и по величине токовой нагрузки на токоподводящие элементы подвески.

6) Для уменьшения выноса раствора из ванны детали следует располагать на подвеске так, чтобы стекание раствора в нижней части деталей происходило преимущественно с угла или ребра, что позволяет

увеличить скорость стекания раствора на 10-20 % и уменьшить остаточное (нестекаемое) количество раствора на деталях.

7) Детали, имеющие углубления или полости, в которых может скопиться и помешать покрытию выделяющийся газ, завешивают в таком положении, чтобы газ мог свободно выходить. Если такое положение придать детали невозможно, то приходится её периодически переворачивать.

8) Следует принять меры против осаждения на детали шлама, приводящего к шероховатости покрытия.

9) При неполной загрузке подвесок или в случае обработки одной детали особое внимание необходимо уделить расположению деталей не только относительно анодов, но и относительно стенок и дна ванны. У высоко подвешенной детали на её нижнем конце будет высокая локальная плотность тока, вследствие чего на этом месте покрытие будет утолщаться, а то и подгорать (рис. 2.7 а); у слишком низко подвешенной детали тоже самое будет происходить на верхнем крае детали. На детали, сдвинутой по длине ванны к одной торцевой стенке, такое же ухудшение качества покрытия будет происходить на конце детали, обращённом к более дальней торцевой стенке (рис. 2.7 б).

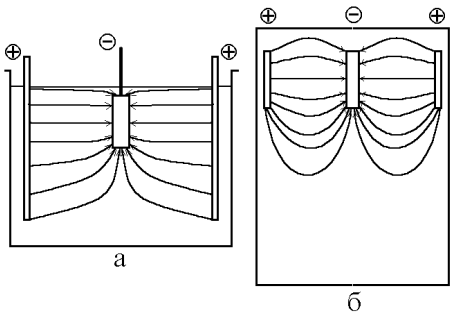



Рис. 2.7. Несимметричное расположение детали в ванне: а – деталь высоко подвешена, б (вид сверху ванны) – деталь сдвинута к торцевой стенке ванны

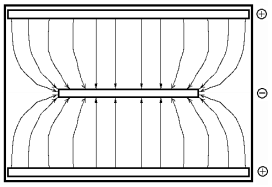


Рис. 2.8. Расположение силовых линий в ванне с деталью без экранов

**Защитные приспособления.** Назначение всякого экрана состоит в том, чтобы затруднить доступ тока к определённым участкам детали и тем самым снизить плотность тока на них во избежание подгара покры-

тия или его излишней толщины на выступающих частях детали или на её краях (рис. 2.8) и появления других дефектов покрытия.

Материал ***непроводящего экрана*** может быть любым, лишь бы он не был электропроводным, не взаимодействовал с электролитом и был достаточно жёстким, чтобы его удобно было закрепить в устойчивом положении по отношению к защищаемому месту детали (рис. 2.9). Чем ближе он будет к детали, тем сильнее будет его экранирующее действие, ибо тем меньше тока будет проникать в зазор между экраном и деталью, и тем меньше будут отличаться площадь и зона действия экрана от его фактической площади и профиля.

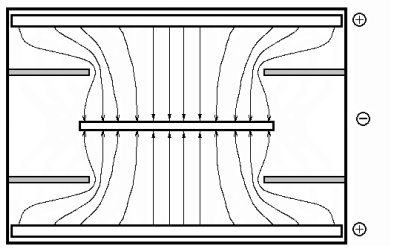


Рис. 2.9. Расположение силовых линий в ванне с деталью и непроводящими экранами

***Проводящие экраны (защитные катоды)*** применяются в основном для защиты деталей от краевого эффекта. Это достигается тем, что плотно прилегающий к краю детали металлический экран служит как бы продолжением детали (рис. 2.10), образуя конечное ребро поверхности детали, на котором и концентрируется краевой эффект, который иначе оказался бы на ребре детали.

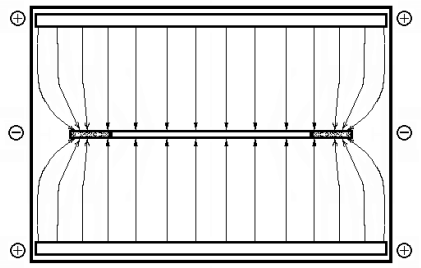


Рис. 2.10. Расположение силовых линий в ванне с деталью и проводящими экранами

В качестве материала для изготовления проводящего экрана может быть использован любой металл, не растворяющийся в электролите при катодной поляризации, или любая деталь из такого металла требуемой формы и размера. Например, при хромировании поршневых колец сверху и снизу стопки годных колец кладут по 1-2 бракованных кольца, выполняющих роль защитных экранов для верхнего и нижнего годных колец. Наиболее подходящим для этой цели является свинец: он легко режется, его можно легко подровнять обыкновенным ножом и подколотить молотком для

плотного прилегания, в результате чего экран становится геометрическим и электрическим продолжением детали.

Для защиты ребер разного профиля, острых выступов и тому подобных элементов поверхности деталей, особенно подверженных опасности подгара, удобны ***проволочные экраны*** (рис. 2.11). Эти экраны представляют собой тонкую (диаметром 0,1-1 мм) проволоку из любого подходящего металла (медь, сталь), согнутую по профилю защищаемого ребра и расположенную вдоль ребра на очень близком от него расстоянии (от 1 до 5 мм). Для защиты острия на детали проволочку защитного катода просто загибают в сторону острия. Чем меньше диаметр проволоки защитного катода и чем ближе он расположен к защищаемому элементу профиля детали, тем эффективнее его защитное действие. Проволока защитного катода соединена такой же, но уже изолированной, проволокой с удобным местом детали или подвески для подвода тока к защитному катоду.

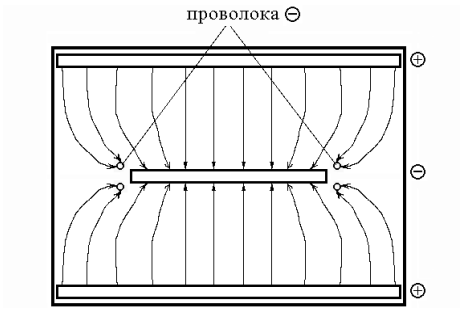



Рис. 2.11. Расположение силовых линий в ванне с деталью и проволочными экранами

***Дополнительные (вспомогательные) аноды*** применяются в тех случаях, когда на поверхности какого-нибудь углубления или полости детали локальная плотность тока имеет очень маленькую величину и покрытие либо осаждается с малой толщиной, либо не осаждается совсем (рис. 2.12).

В связи с тем, что вспомогательный анод располагается близко к детали, большое значение имеет точность его ориентации по отношению к участку детали, для

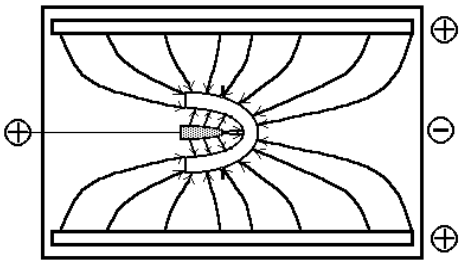



Рис. 2.12. Расположение силовых линий в ванне с деталью и вспомогательным анодом

улучшения покрытия которого он предназначен. Поэтому во избежание сдвига вспомогательного анода под действием газовыделения, перемешивания или случайного толчка предпочтительно жёстко монтировать его на подвеске, иногда даже на самой детали, применяя в обоих случаях надёжную изоляцию анода и его крепления и подводя к нему ток гибким проводом от анодной штанги.

Иногда вместо вспомогательного анода удобно использовать ***биполярный электрод***, представляющий собой кусок анодного металла (растворимого или нерастворимого), изолированно закреплённого на подвеске и не имеющего подвода тока от анодной штанги. Одним концом биполярный электрод направлен в сторону основного анода, а другим – в сторону углубления детали, требующего усиления покрытия (рис. 2.13). Ток будет проходить (по пути наименьшего сопротивления – по металлу, а не по электролиту) от основного анода к ближнему концу биполярного электрода, через биполярный электрод и далее с другого его конца – ко дну углубления на детали. Таким образом, один конец биполярного электрода, расположенный ближе к аноду, будет выполнять роль катода, а другой его конец – роль анода. Поэтому такой электрод и называется биполярным.

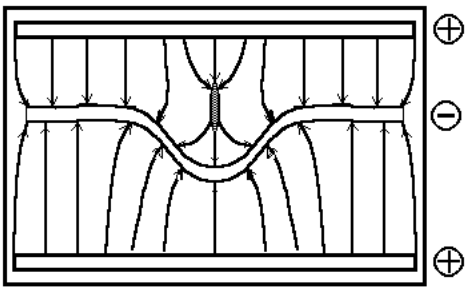



Рис. 2.13. Расположение силовых линий в ванне с деталью и биполярным электродом

Желательно, чтобы длина биполярного электрода равнялась разности между расстояниями от анода до ближнего участка детали и от анода до дна углубления. Никакой особой точности при этом расчёте не требуется. Боковую поверхность биполярного электрода, кроме переднего и заднего торцов, желательно заизолировать во избежание излишнего перехода тока на близлежащие участки наружной поверхности покрываемой детали.

### 2.4. Хранение подвесочных приспособлений

Вопрос хранения подвесочных приспособлений очень важен. При неаккуратном хранении приспособления сцепляются подвесными крюками и, особенно, контактами. Контакты и даже сами приспособления ломаются, извлечение нужного приспособления – длительный и трудоёмкий процесс. Сложность заключается в необходимости иметь достаточно места для склада подвесок, ибо, во избежание перечисленных выше неполадок нельзя подвешивать, а тем более класть приспособления вплотную одно на другое.

Хорошим решением является крепление на стене на небольшом расстоянии от неё горизонтальных прутков, укреплённых один под другим на расстоянии высоты подвески. За эти прутки подвески цепляют подвесными крюками (рис.2.14).

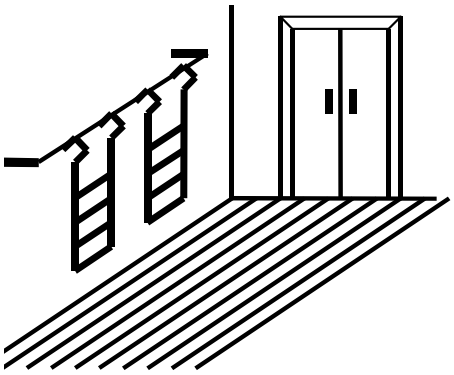


Рис. 2.14. Схематическое изображение способа хранения подвесок на стене

Под такие импровизированные вешалки могут быть использованы все свободные участки стен цеха или специальной кладовой по всей высоте помещения (при пользовании стремянкой). Если условия позволяют, то делают вдоль стен не один ряд прутков, а несколько (аналогично сушке белья не на одной верёвке, а на нескольких рядах верёвок). Расстояние между рядами прутков и высота их расположения на стенах выбираются такими, чтобы можно было добраться рукой до любой нужной подвески, снять её или повесить.

### 2.5. Анодные корзины

Вследствие того, что аноды в раствор погружены не полностью (анод должен выступать из электролита на высоту не менее 50 мм), а также из-за неравномерного растворения анода по периметру (наибольшее растворение анодов происходит с боков в верхней половине погруженной части анодов) образуются анодные отходы (рис.

2.15). Отходы, как правило, переплавляют в новые аноды. Однако не на всех предприятиях возможна переплавка, да и литые аноды в большинстве случаев работают хуже анодов, изготовленных методом прокатки. Более рационально использование анодных сетчатых корзин, в которые загружают отходы, предварительно нарубленные на кусочки размером от 25х25 до 50х50 мм. Для цианистых и щелочных ванн корзины делают из углеродистой стали, для кислых – из пластмассы или стали, покрытой пластмассой, в которые для подвода тока к отходам опускают пластинку из анодного металла.

Значительно более удобны титановые корзины. На титане в присутствии ничтожных следов кислорода или иных окислителей образуется тонкая непроводящая окисная плёнка. В тех местах плёнки, которые подвергаются относительно большому удельному давлению, например, под краем лежащего в корзине анодного обрезка, существенно снижается её сопротивление. Такая корзина в электролите никелирования требует напряжения лишь на 0,1 В больше, чем обычный плоский никелевый анод – это в пять раз меньше экономически допустимой разницы. В других местах электрические свойства изолирующей плёнки сохраняются. Её пробивное напряжение в растворе сульфатов или серной кислоты доходит до 80 В, в солянокислой среде оно падает до 7-8 В, а в сернокислых электролитах никелирования с добавками хлоридов имеет какую-то промежуточную величину. Учитывая величину напряжения, необходимого для проведения большинства процессов, проводимых в вышеперечисленных растворах, можно с уверенностью рекомендовать для использования титановые анодные корзины. Плёнка разрушается только в присутствии ионов фтора.

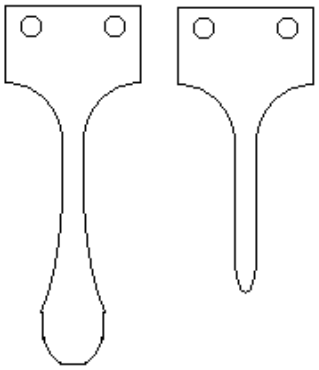


Рис. 2.15. Формы отработанного анода

При пользовании титановыми корзинами нужно, чтобы корзина была всегда наполнена анодными обрезками выше верхнего края дета-

лей. В случае, если какая-либо выступающая точка детали окажется вблизи пустой части корзины, против неё на стенке корзины возможно повышение напряжения, приводящее к пробою окисной плёнки и коррозии титана. При нахождении под током совершенно пустой корзины её потенциал может подняться до потенциала анодного окисления, что, наоборот, сильно утолщит анодную плёнку и корзину придётся протравливать для восстановления электрического контакта с обрезками анодного металла. Без тока в неработающей ванне корзина может находиться как пустой, так и полной. На корзину надевают чехол, как на обычный анод.

Сечение корзины, как правило, прямоугольное (50÷100)х(100÷300) мм. Высота корзины обычно равна высоте анода. Верхний край корзины должен быть выше зеркала электролита на 50-70 мм для возможности её загружать, не вынимая из ванны. Торцевые стенки корзины делают сплошными. Стенки, обращённые к деталям, изготавливают из титановой сетки или из горизонтальных титановых прутков с интервалами порядка 20 мм и вертикальных с интервалом 70-100 мм, а дно – в виде сплошного поддона с бортиками высотой 20-30 мм (рис. 2.16).

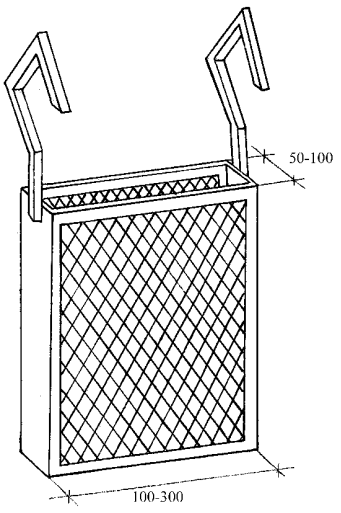


Рис. 2.16. Анодная корзина

Корзину подвешивают на анодную штангу двумя крюками, приваренными к торцевым стенкам корзины. Крюки выгоднее делать из титановой полосы (отношение сторон от 1:2 до 1:4), располагая узкое ребро в сторону анодной штанги. Такой крюк лучше охлаждается и создает большее удельное давление в зоне контакта. Для улучшения контакта при больших токах к контактирующему ребру приклёпывают медную или никелевую накладку.

Сечение токонесущих титановых деталей корзины, расположенных выше зеркала электролита, берут из расчёта 1 А/мм$^2$, а погруженных в электролит – до 5 А/мм$^2$. При полной нагрузке ванны потери в крюках составляют менее 1 % от общего расхода электроэнергии.

## 3. Оборудование для обработки мелких деталей

Мелкие и обычно лёгкие детали массового производства, которые сложно индивидуально навешивать на подвесочные приспособления, обеспечивая при этом надёжный электрический контакт, обрабатывают с помощью специального оборудования. Обработку деталей в этом оборудовании проводят насыпью (кучей). Электрический контакт между деталями осуществляется за счёт давления верхних слоёв деталей на нижние, а равномерность гальванической обработки обеспечивается перемешиванием при вращении ёмкости с раствором (расположение анодов рассмотрено ниже).

Оборудование для обработки мелких деталей делится на пять основных типов:

– ***наливные колокола***, в которых изделия засыпаются в коническую или пирамидальную ёмкость со сплошными стенками, залитую на некоторую высоту электролитом и вращающуюся вокруг своей оси, наклоненной к вертикали под некоторым углом;

– ***погружные колокола***, ёмкость которых имеет такую же коническую форму, как у наливных колоколов, и вращается в наклонном положении, но стенки её перфорированы и не электролит заливается в колокол, а колокол погружен в ванну с электролитом;

– ***барабаны***, обычно призматические, реже цилиндрические, с перфорированными стенками, вращающиеся вокруг своей горизонтальной оси при полном (реже частичном) погружении в ванну с электролитом;

– ***корзины-качалки*** с перфорированными стенками, поворачивающиеся на неполный оборот (назад и вперед) при полном погружении в ванну с электролитом.

– ***сетки*** или ***сетчатые корзины*** используются главным образом для химической обработки и размещения анодного материала при катодном нанесении покрытий (рис.3.1). Перемешивание деталей в них производится путём периодического встряхивания. Так как встряхиванием обеспечивается перемешивание кучи деталей лишь небольшой величины, поэтому для электрохимической обработки сетки используются редко и только с равномерно и в один слой рассыпанными на них деталями. Встряхивание катодной штанги с подвешенными на ней сетками осуществляется либо с помощью вращения асимметричного кулачка типа "собачки", либо вибратора.

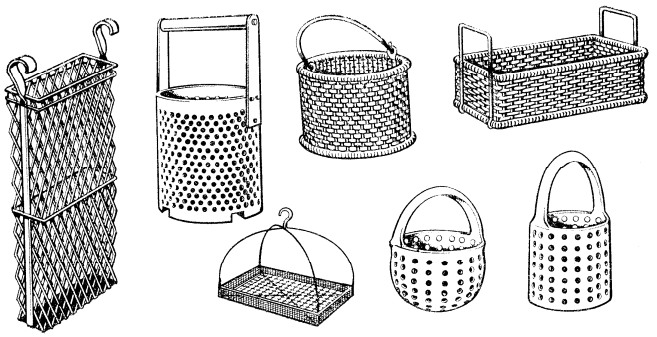


Рис. 3.1. Корзины для электрохимической и химической обработки деталей и размещения анодного материала

Специфические особенности работы всех перечисленных типов оборудования, вызванные тем, что детали загружены в них насыпью (кучей), резко отличают их от стационарных ванн:

– внутренние слои кучи деталей сильно экранированы внешними слоями от силовых линий тока, поэтому в каждый данный момент покрытие происходит только на деталях, лежащих в наружных слоях кучи; в связи с этим фактическая плотность тока значительно больше плотности тока, рассчитанной по поверхности всей загрузки;

– величина плотности тока при обработке деталей насыпью обычно составляет 1/3 от величины плотности тока при обработке деталей на подвесках;

– ток от токоподводящих контактов (донный, плавающий и т.п. катоды), имеющих ограниченную поверхность, протекает к ближайшей детали и от неё к другим деталям через не очень надёжные контакты между ними; падение напряжения на этих плохих контактах весьма значительно, поэтому к такому оборудованию требуется подводить более высокое напряжение, чем к стационарным ваннам;

– перфорированные стенки погружных колоколов, барабанов корзин-качалок и сеток способствуют заметному увеличению электрического сопротивления и также вызывают потребность в подводе к ваннам повышенного напряжения;

– в наливных колоколах причиной повышенного электрического

сопротивления является ограниченная площадь поверхности анода – достаточно большой анод невозможно уместить внутри колокола; но и в прочих типах оборудования для покрытия мелких деталей площадь анодов недостаточно велика, хотя аноды и расположены вне сосуда;

– объём электролита в наливном колоколе, приходящийся на единицу площади поверхности деталей и на 1 А тока, значительно меньше, чем в стационарной ванне. Это приводит к быстрому нарушению состава электролита, перегреву, а иногда и к некоторым другим осложнениям;

– в результате непрерывного перемешивания (пересыпания) деталей довольно большая часть осевшего на них металла успевает за время процесса нанесения покрытия стереться, химически раствориться (до 20-40 % для твёрдых металлов типа никеля, до 40-60 % для мягких металлов типа цинка), что существенно уменьшает скорость наращивания покрытия по сравнению со скоростью осаждения покрытия в стационарных ваннах.

Таким образом, оборудование для покрытия мелких деталей требует более высокого напряжения питающего тока и большего времени для нанесения покрытия, чем в стационарных ваннах, но это окупается возможностью большей загрузки оборудования на единицу площади цеха и, главным образом, несравнимо меньшей трудоёмкостью загрузки и выгрузки деталей.

### 3.1. Колокола

Колокольные ванны подразделяются на два вида: колокол наливного типа и колокольная ванна погружного типа (или погружной колокол).

**Колокол наливного типа** (рис. 3.2). Колокол 8 представляет собой усечённую шести- или восьмигранную пирамиду, дном служит её большее основание, а загрузочным отверстием – меньшее. Наливной колокол изготавливают из различных неметаллических материалов или из металла, но с футеровкой внутри. Наиболее распространёнными и удобными соотношениями размеров являются следующие: отношение верхнего диаметра к нижнему, равное 2 : 3, и высота, равная нижнему диаметру. Угол конуса при этом получается 71° (рис. 3.3). Стенки и дно наливного колокола сплошные. Сам колокол установлен на специаль-

ной станине 1 и вращается с помощью мотора 2 через редуктор 3. Для большинства деталей оптимальный угол наклона колокола составляет 35-40° от вертикали (рис.3.3). Через верхнюю открытую часть колокола заливается электролит, загружаются детали 11 и в электролит вводится анод 9.

Катодные контакты внутри колокола выполняются либо донными, либо плавающими.

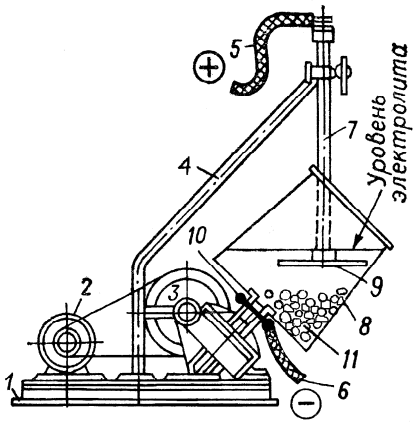



Рис. 3.2. Колокол наливного типа:
1 – станина, 2 – мотор, 3 – редуктор, 4 – анодная штанга, 5 – анодный токоподвод 6 – катодный токоподвод, 7 – штанга, 8 – колокол, 9 – анод, 10 – щёточный катодный контакт, 11 – детали

*Донный* катодный контакт 10 представляет собой диск с круговыми выступами, укреплённый на дне колокола по его центру. Ток подаётся от катодного токоподвода 6 на катодный диск через дно колокола от наружного кольца, по которому скользят установленные на неподвижной части станины токосъёмные щётки. Донные контакты очень быстро зарастают, что требует регулярной (не реже раза в неделю) очистки (травление кислотой или сбивание их молотком и зубилом). Эти операции приводят к длительному простою оборудования и отрицательно сказываются на его целости. Донные контакты постепенно вытесняются из практики плавающими катодными контактами. *Плавающий* контакт представляет собой небольшой кусок металла с площадью поверхности,

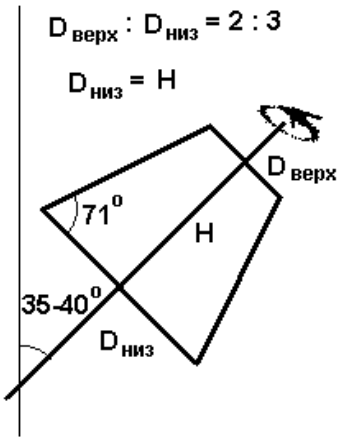



Рис. 3.3. Геометрические параметры колокола

равной 0,2-0,5 дм$^2$. Форма его безразлична, но предпочтителен небольшой цилиндр диаметром 1-2 см, длиной 5-8 см, закреплённый на конце гибкого (многожильного) изолированного медного провода. Контактный цилиндр должен лежать на верху кучки деталей. При недостаточно гибком или слишком длинном проводе он при вращении колокола может запутаться вокруг анода или цилиндр отодвинется в сторону от деталей и контакт нарушится. Не обязательно добиваться, чтобы цилиндр утонул в куче деталей – это не нужно и практически редко достижимо – только в случае, когда детали по размеру превышают катодный цилиндр.

Плавающий контакт удобен, прост конструктивно и электрически надёжен; от него не образуются наросты по дну; в нём не застревают мелкие детали. Контакт несложно снять и заменить новым, а старый либо протравить, либо переплавить, если он был изготовлен из анодного металла. Он дёшев (если изготовлен не из драгоценного металла) и прост в изготовлении.

Провод можно привязать к анодной штанге или пропустить его через штангу (если она полая) и через отверстие в аноде. Важно, чтобы провод не касался верхнего края колокола, иначе его изоляция будет быстро перетёрта.

Общий вид наливного колокола представлен на рис. 3.4.

В наливном колоколе нет места, чтобы разместить аноды с достаточной площадью поверхности. Подвешенный в колокол на анодной штанге 6 кусок обычного плоского анода 5 имеет ничтожную рабочую поверхность, что обуславливает нарушение рабочего режима растворения анода и сильное повышение напряжения. Поэтому анод нужно делать с развитой поверхностью. Аноды из легкоплавких металлов следует отливать в виде диска с рёбрами на его нижней поверхности. Из тугоплавких металлов (например, никеля) анод с развитой поверхностью изготавливают с помощью сварки. К горизонтальной пластине снизу приваривают несколько рёбер с зазором 10-20 мм.

Оптимальное расстояние от нижней части анода до деталей колеблется от 100 до 200 мм. Если оно меньше 100 мм, то возникает возможность короткого замыкания деталей с анодом.

Объём электролита составляет примерно 50-60 %, а объём деталей 10-20% от объёма колокола.

Сила тока и напряжение могут колебаться в зависимости от соста-

ва электролита. Частота вращения небольших (до 10 л) колоколов 15 об/мин, больших (30-70 л) стационарных колоколов 10 об/мин.

Главными преимуществами колокола наливного типа являются возможность обработки очень мелких деталей вследствие отсутствия перфорации, а также надёжность конструкции и компактность установки, которая легко может быть передвинута в другое место.

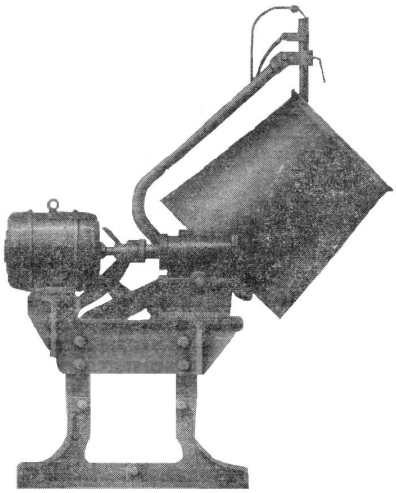


Рис. 3.4. Общий вид наливного колокола

Главные недостатки наливного колокола – малая вместимость по объёму деталей, небольшая одновременно покрываемая поверхность деталей (покрываются детали, находящиеся в данный момент на поверхности, параллельной зеркалу электролита), малый объём электролита, ограниченность анодной поверхности, невозможность поддерживать повышенную температуру электролита. Всё это обуславливает низкие объёмную и катодную плотности тока, а соответственно и низкую производительность процесса.

**Колокольная ванна погружного типа**. Погружной колокол (рис. 3.5) всегда изготавливается из неметаллического материала и обычно представляет собой усечённую шести- или восьмигранную пирамиду (рис. 3.5 а), дном служит большее основание, а загрузочным отверстием – меньшее. Так же как и у наливного колокола отношение верхнего диаметра к нижне-

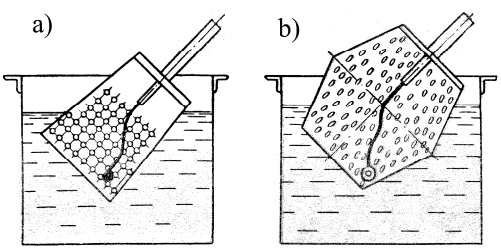



Рис. 3.5. Погружной колокол: а) – в виде усечённой пирамиды, б) – в виде двух спаренных усечённых пирамид

му 2 : 3, а высота равна нижнему диаметру, т.е. угол конуса 71°. Более однородные покрытия получаются в колоколе, имеющем форму двух спаренных усечённых шести- или восьмигранных пирамид (рис. 3.5 б). В отличие от наливного у погружного колокола грани имеют перфорацию. Внутрь колокола засыпаются детали, а сам колокол погружается в ванну, где содержатся электролит и аноды. Перфорация обеспечивает прохождение тока от анодов, расположенных вне колокола, до деталей. Расположение анодов вне колокола позволяет использовать аноды с бóльшей площадью, чем в наливном колоколе, тем самым обеспечивается поддержание нормального режима их растворения, а бóльший объём электролита способствует уменьшению объёмной плотности тока и тем самым обеспечивается большая стабильность состава электролита. Внутрь колокола через верхнее отверстие вводится гибкая металлическая изолированная шина с утолщением на конце – плавающим катодом, который как и для наливного колокола представляет собой небольшой кусок металла предпочтительно цилиндрической формы с площадью поверхности 0,2-0,5 дм$^2$. Длина гибкого изолированного провода, к которому крепиться плавающий катод, подбирается экспериментально: при недостаточно гибкой или слишком длинной шине плавающий катод при вращении колокола может запутаться вокруг вала. Детали загружаются и выгружаются через верхнюю открытую часть по лоткам. Ванна может снабжаться вытяжной вентиляцией и устройством для нагрева или охлаждения. Общий вид колокольной ванны погружного типа представлен на рис. 3.6.

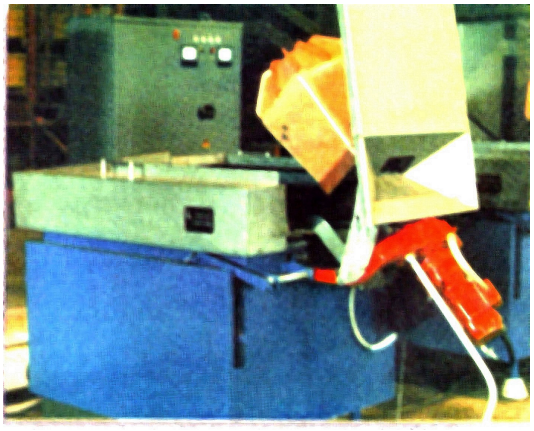


Рис. 3.6. Общий вид колокольной ванны погружного типа

Как для наливного, так и для погружного колоколов наиболее выгоден такой угол наклона, при котором детали при нормальной для данного размера колокола загрузке занимают от половины до одной

трети площади дна. При этом они хорошо перемешиваются, а активная (покрываемая) поверхность деталей достаточно велика. В зависимости от сыпучести деталей оптимальный угол наклона колокола может несколько меняться, но для большинства деталей он составляет 35-40° от вертикали.

Колокола, как наливные, так и погружные должны иметь возможность совершать два различных движения: вращение вокруг геометрической оси конуса (пирамиды) колокола (для перемешивания деталей), а также наклон в вертикальной плоскости (для загрузки и выгрузки) от 0° и до угла в 125-135° от вертикали. Колокол должен вращаться, находясь в любом положении в пределах его угла наклона, так как вращение помогает высыпанию мокрых деталей при разгрузке. Наклон совершается вручную при помощи зубчатой передачи. Для удобства манипулирования колокол обязательно должен быть уравновешен противовесом или мотором с редуктором: для наливного колокола противовес должен быть по весу несколько большим, чем полностью загруженный колокол (чтобы в случае поломки механизма подъема колокол перешёл в вертикальное положение); для погружного колокола противовес должен быть по весу несколько меньшим, чем пустой барабан (чтобы легко было осуществлять загрузку деталей).

### 3.2. Барабаны для нанесения покрытия

Барабаны (рис. 3.7) представляют собой шести- или восьмигранную сварную или сборную призму 1, изготовленную из неметаллических, кислотощелочестойких материалов. Все боковые грани барабана перфорированы. В одной торцевой стенке барабана имеется зубчатое колесо 2, изготовленное, как правило, из того же материала, что и барабан, или другого неметаллического материала. Через систему зубчатых колёс вращение от мотора 3 с редуктором 4 передаётся барабану. Мотор с редуктором могут располагаться как вне ванны, так и на барабанной раме. В первом случае при подвешивании барабана на катодную штангу гальванической ванны зубчатое колесо барабана состыковывается с зубчатым колесом привода вращения, установленного вне ванны. Наиболее удобен и широко распространен переносной барабан, когда мотор и редуктор установлены вместе с барабаном на одной П-образной раме 6. В этом случае барабан может быть опущен в любую стационарную ванну. Для переноски и

подвешивания барабана на катодную штангу ванны на верхней перекладине у рамы имеются крюки. Плавающие катоды 7 вводятся внутрь барабана через две трубчатые полуоси 5.

После окончания процесса нанесения покрытия барабан поднимается из ванны покрытия, переносится в промывочную ванну, затем разгружается на сито и загружается следующей партией деталей. Загрузку и выгрузку деталей осуществляют через открывающуюся грань барабана, имеющую замок.

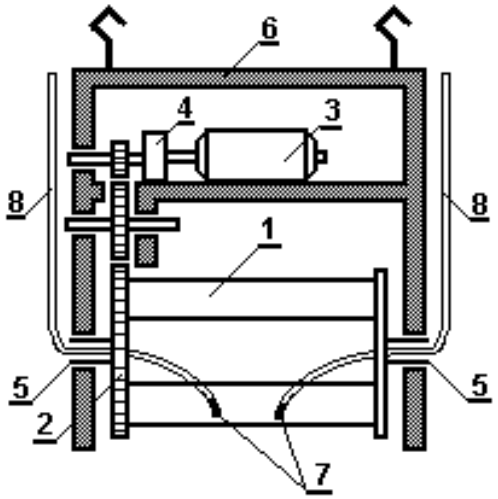



Рис. 3.7. Переносной барабан: 1 – барабан, 2 – зубчатое колесо, 3 – мотор постоянного тока, 4 – редуктор, 5 – трубчатые полуоси, 6 – рама, 7 – плавающие катоды, 8 – катодные шины

Если на барабане установлен мотор постоянного тока, рассчитанный на 12 В, то он может питаться от штанг гальванической ванны. (В качестве мотора можно применить небольшой автомобильный генератор; никаких переделок он не потребует). В этом случае следует учесть, что амперметр на щите ванны покажет сумму токов электролиза и мотора. Мотор переменного тока нужно питать по гибкому проводу для того, чтобы обеспечить вращение барабана в промывных ваннах.

Полуоси барабана либо прочно закреплены на торцевых стенках барабана и вращаются в сквозных отверстиях вертикальных стоек рамы, либо прочно закреплены в вертикальных стойках рамы и вращаются в отверстиях торцевых стенок барабана. В первом случае провод, на котором крепится плавающий катод, должен проходить полость полуоси с очень большим зазором, чтобы полуось при своём вращении не увлекала за собой провод, не закручивала его и не истирала изоляцию. Такая конструкция имеет одно неудобство. При нормальной загрузке барабана (на одну треть его диаметра по высоте) барабан работает вполне удов-

летворительно, но если барабан загружается до полуоси или выше, то мелкие детали могут высыпаться из барабана через большой (не менее 10 мм) зазор между проводом и внутренним отверстием полуоси.

Гораздо удобнее вторая более современная конструкция, когда провод плавающего катода пропущен через неподвижные трубчатые полуоси. В этом случае внутреннее отверстие полуоси может быть закрыто заглушкой, через отверстие в которой контактный провод, также неподвижный, можно пропустить так плотно, чтобы через зазор не могла проскочить даже самая маленькая деталь. В этой конструкции исключена и опасность закручивания провода.

В обеих конструкциях полуоси делают из винипластовой или полипропиленовой трубы с наружным диаметром 25-50 мм и толщиной стенки 3-5 мм. В таком упрощенном "подшипнике" трение практически отсутствует.

Провода с плавающими катодами заводят по одному с каждого торца барабана. Расстояние между контактными цилиндрами (плавающими катодами) внутри барабана должна быть от 1/3 до 1/2 длины барабана для более равномерного распределения тока по массе деталей. Независимо от конструкции полуосей барабана и от положения плавающих катодов (на поверхности детали или под ней) провода, подводимые к катодам, должны быть гибкими. Общий вид переносного погружного барабана представлен на рис. 3.8.

Рис. 3.8. Общий вид переносного погружного барабана

Насыпной объём деталей составляет 25-35 % объёма барабана.

В ванны с барабанами обычно завешивают такие же аноды, как и в стационарные ванны. Подвешивают их с обеих сторон барабана параллельно его оси. Нижний конец анода не стоит опускать в ванну глубже, чем на 100 мм ниже нижней образующей барабана. Как правило, при обработке деталей в барабанах

анодная плотность тока в 3-4 раза выше, чем в стационарных ваннах. Такая повышенная анодная плотность тока вызывает потребность в повышенном напряжении на ванне, что может привести к пассивированию анодов. Поэтому желательно использовать активные (депассивированные) аноды (например, при никелировании), допускающие использование повышенной плотности тока, и аноды с развитой поверхностью, например цилиндрические, или анодные корзины. Аноды должны быть подвешены вплотную друг к другу и регулярно заменяться по мере растворения.

Перфорация стенок барабанов, колоколов и корзин-качалок необходима для циркуляции электролита и прохождения тока. Чем больше "живое" сечение перфорации (процентное отношение площади поверхности отверстий к общей площади стенки), тем меньше она мешает протеканию раствора и тока. Однако делать большие отверстия невыгодно, ибо в таком оборудовании нельзя будет обрабатывать не только детали, по своим размерам меньшие отверстий, но и такие, у которых есть элементы профиля, могущие выступить из отверстия. На кончике этого выступа плотность тока будет настолько велика, что на нём образуется шишковидный нарост металла, который зачастую даже не удаётся вытащить из отверстия и значительная часть перфорации окажется закупоренной. С другой стороны, очень маленькие отверстия оказывают большое сопротивление протеканию раствора и тока, а если их делать много, то это достаточно трудоёмко, да и стенка становится ослабленной. Поэтому приходится ограничиваться размером отверстия от 3 до 8 мм и промежутками между ними 2,5-6 мм (расстояние между центрами отверстий 5,5-14 мм).

Отверстия в перфорированной стенке почти всегда делают в шахматном порядке (рис. 3.9 б), так как теоретически при этом на единице площади стенки умещается большее количество отверстий и "живое" сечение перфорации будет на 15,5 % больше, чем "живое" сечение при рядном (рис. 3.9 а) расположении отверстий (при одинаковых диаметрах отверстий и одинаковых межцентровых расстояниях). Однако ограничения по прочности стенок диктуют применение "живого" сечения для приведённых выше размеров перфорации – от 23,4 до 25,7 % при рядном расположении отверстий и от 27,0 до 29,6 % – при шахматном. Очевидно, что практически этой разницей можно пренебречь, если электропроводность электролита достаточно высока. Для расчёта "жи-

вого" сечения мысленно выделяем из стенки с рядным расположением отверстий (рис. 3.9 а) квадрат, соединяющий центры четырёх соседних отверстий. Площадь этого квадрата равна $c^2$. В него войдут четыре сектора с углом по 90°, вырезанные углами квадрата из четырёх отверстий. Эти четыре сектора в сумме составляют одно отверстие, а "живое" сечение будет равно отношению площади одного отверстия $\pi d^2/4$ к площади квадрата $c^2$, выраженному в %: $78{,}5\ d^2/c^2$ (%).

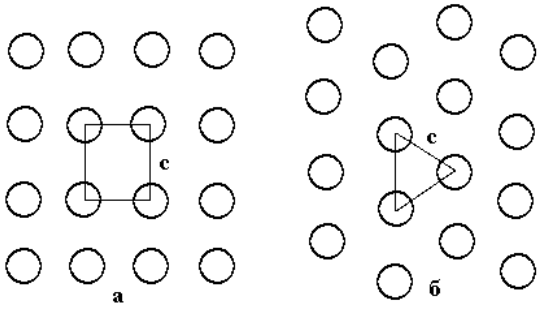



Рис. 3.9. Схема расчёта "живого" сечения перфорации: а – рядное, б – шахматное расположение отверстий; с – межцентровое расстояние

Точно так же при шахматном расположении отверстий (рис. 3.9 б) представим себе равносторонний треугольник, соединяющий центры трёх соседних отверстий, лежащие в его вершинах. Площадь этого треугольника будет $\frac{c}{2} \cdot c \cdot \sqrt{\frac{3}{4}}$ (где $c$ – длина стороны треугольника, $\sqrt{\frac{3}{4}}$ есть косинус угла в 30°). Стороны треугольника вырежут в каждом из трех отверстий сектор в 60°, а все три сектора в сумме составят половину площади отверстия. "Живое" сечение будет равно отношению половины площади отверстия $\pi d^2/8$ к площади треугольника, выраженному в %: $90{,}6\ d^2/c^2$ (%).

Для нанесения покрытия на мелкие детали изредка применяются **корзины-качалки**, не получившие у нас широкого распространения. Они делаются в виде полуцилиндра или половины многогранной призмы, подвешенной на горизонтальном валу, вокруг которого корзина может качаться с амплитудой 60°. Основным недостатком этих корзин, ограничивающим их применение, является их неудачная форма, не позволявшая более интенсивно качать корзину из опасения высыпания деталей через край.

В 70-е годы за рубежом появилась новая существенно улучшенная модель такой корзины, имеющая форму почти замкнутого цилиндра. Вдоль образующей цилиндра на стороне, противоположной середине

загрузочного окна, расположено ребро в форме равностороннего треугольника, в одной модели входящее внутрь корзины (рис. 3.10 а), а в другой – наоборот, выступающее из дна наружу и придающее поперечному сечению корзины форму сердца (рис. 3.10 б). Ребро предназначено для улучшения перемешивания деталей. Однако основное достоинство новой модели заключается в том, что окружность корзины охватывает не 180°, как в старой модели, а 315°, что позволяет увеличить амплитуду качания в три раза (180° вместо 60°) без опасения просыпать детали. Это значительно улучшает перемешивание деталей.

Рис. 3.10. Корзины-качалки:
а – с внутренним, б – с наружным треугольным ребром

### 3.3. Изготовление и эксплуатация оборудования для гальванической обработки мелких деталей

**Материалы для изготовления колоколов, барабанов и корзин-качалок.** Наиболее подходящим материалом для изготовления погружных колоколов, барабанов и корзин-качалок являются винипласт, оргстекло (плексиглас) и полипропилен. Учитывая, что устройства для гальванической обработки мелких деталей при работе испытывают существенные механические нагрузки, а также находятся в средах различной агрессивности и чувствительности ко всякого рода загрязнениям, материал должен обладать химической стойкостью в электролитах, где эти устройства эксплуатируются, высокой прочностью, износостойкостью и термостойкостью, не должен влиять на работоспособность растворов. Оптимальные показатели имеет полипропилен, из которого методом литья под давлением изготавливают отдельные элементы устройств. Срок службы сборной конструкции из полипропилена более чем в 25 раз превышает срок службы сварной конструкции из винипласта.

Наливные колокола обычно делаются из листового металла и футеруются. Иногда футеровку выполняют из фаолита или иных мягких резинообразных материалов. Однако применение мягких материалов нежелательно – в них втыкаются мельчайшие заусенцы, отломившиеся

от изделий, или дендриты от покрытия, и вокруг этих заусенцев очень быстро нарастает металл, что вызывает весьма ощутимые потери тока. Жёсткую футеровку сварить внутри конуса колокола трудно, а ввести готовую футеровку в колокол через его верхнее, меньшее, отверстие вообще невозможно. Поэтому приваривают к металлическому конусу фланец, вставляют в конус готовую футеровку и крепят болтами фланец конуса к металлическому дну колокола. Это несложная и удобная конструкция.

**Области применения колоколов, барабанов и качалок**. К мелким деталям, которые могут обрабатываться в насыпном виде, относятся крепёжные детали (болты, гайки, шайбы и пр.) массой до 100-120 г, с длиной болтов до 100-120 мм и прочие детали с максимальными размерами до 50-60 мм и массой до 100 г.

Барабаны характеризуются большой по объёму загрузкой деталей и интенсивным перемешиванием деталей. Поэтому в них:

– существует опасность повреждения тонких рёбер, винтовой резьбы и других легко повреждаемых мест профиля детали;

– быстрее происходит истирание осаждаемого металла;

– лучше обрабатываются плохо перемешивающиеся плоские детали (шайбы).

Погружные колокола отличаются от барабанов меньшей по объёму загрузкой деталей и менее интенсивным перемешиванием деталей. Поэтому в них рекомендуется покрывать:

– детали с тонкими ребрами, резьбой и легко повреждаемыми участками профиля;

– детали легко истираемыми покрытиями.

Наливные колокола не имеют перфорации. Поэтому они пригодны для покрытия:

– самых мелких деталей;

– деталей, имеющих тонкий стержень (гвозди, иголки, оси и т.п.).

Корзины-качалки по характеру работы занимают промежуточное положение между барабанами и колоколами.

**Расчёт режима работы колоколов, барабанов и корзин-качалок**. В отличие от стационарных ванн продолжительность нанесения покрытия в колоколах, барабанах и корзинах-качалках рассчитывается не по фактической плотности тока, которую в оборудовании для

обработки мелких деталей определить затруднительно, а по количеству электричества, необходимого для покрытия поверхности всех деталей загрузки слоем металла требуемой толщины.

Величину загрузки определяют, исходя из объёмов колоколов и барабанов: насыпной объём деталей составляет 10-20 % от объёма колокола или 25-35 % от объёма барабана. Величина загрузки корзин-качалок по массе и площади поверхности деталей близка к величине загрузки барабанов. Таким образом, сначала по объёму колокола или барабана определяют насыпной объём единовременной загрузки, а взвесив загрузку, определяют её массу. Площадь поверхности $S$ загрузки определяют так: взвешивают одну деталь, делят вес загрузки $M$ на вес одной детали $m$ (определяют количество деталей в загрузке) и умножают на величину площади поверхности $s$ одной детали:

$$S = (M/m)s$$

Продолжительность нанесения покрытия на детали загрузки рассчитывают по следующей формуле, основанной на законах Фарадея:

$$\tau = \frac{m_{пк} \cdot (100 + k)}{I \cdot g \cdot BT} = \frac{S \cdot \gamma \cdot d \cdot (100 + k)}{I \cdot g \cdot BT} = \frac{M \cdot s \cdot \gamma \cdot d \cdot (100 + k)}{m \cdot I \cdot g \cdot BT},$$

где $\tau$ – продолжительность нанесения покрытия на одну загрузку, ч; $m_{пк}$ – масса покрытия, г; $S$ – площадь поверхности загрузки, м$^2$; $s$ – площадь поверхности одной детали, м$^2$; $M$ – масса загрузки, кг; $m$ – масса одной детали, кг; $\gamma$ – плотность осаждаемого металла, г/см$^3$; $d$ – заданная толщина покрытия, мкм; $k$ – потери на истирание в % от $d$ ($k$ = 20 % – для твёрдых металлов, $k$ = 40 % – для мягких металлов); $I$ – сила тока на загрузку, А; $g$ – электрохимический эквивалент осаждаемого металла, г/(А·ч); $BT$ – выход металла по току, %.

Силу тока устанавливают, исходя из заданной плотности тока и величины площади загрузки: $I = S \cdot i$. Если в технологии не указана величина плотности тока для нанесения покрытия в колоколах и барабанах, то берут примерно *1/3* от величины плотности тока при обработке деталей на подвесках.

## 4. Автоматические гальванические линии

Отличительная особенность гальванического производства состоит в том, что оно необычайно широко распространено – имеется практически на любом предприятии, связанном с изготовлением металлических деталей и изделий. Широкое применение гальванических покрытий вызывает большое разнообразие гальванических цехов как по видам обработки деталей, так и по производительности оборудования. Если до начала перестройки особое внимание уделялось усилению специализации и интенсификации производства, то в настоящее время на первое место выходят гибкость и универсальность. Сейчас большинство гальванических производств с высокопроизводительными автоматами простаивает, а небольшие гальванические участки с механизированными линиями и линиями ручного обслуживания, составленными из стационарных ванн, всё больше и больше развиваются. Придёт время и начнёт оживать крупное автоматизированное гальваническое производство, но уже вряд ли займёт доминирующее положение. Поэтому вкратце рассмотрим автоматические линии для нанесения гальванических покрытий. Конструкция механизированных линий аналогична конструкции автоматических линий.

Гальванические автоматические линии в общем виде включают в себя ванны, сушильную камеру, загрузочно-разгрузочные стойки или устройства, систему вентиляции, металлоконструкцию (каркас), систему трубопроводов, площадку обслуживания, устройства для перемещения подвесок и вспомогательное оборудование (насосы, теплообменники, фильтровальные установки, ёмкости и т.п.). Ванны, в которых одновременно располагаются несколько штанг с подвесками, называются многопозиционными.

Основной механической функцией автоматических линий является перенос подвесок с деталями, колоколов или барабанов из одной ванны в другую в строгом соответствии с выдержкой времени для каждой операции, заданной технологическим процессом.

По возможности изменения алгоритма переноса деталей автоматические линии делятся на два типа: линии с *жёстким циклом* и линии с *гибким циклом*.

В линиях с жёстким циклом изменение последовательности или времени выдержки деталей в конкретной ванне влечёт за собой значи-

тельную и трудоёмкую перестройку металлоконструкции линии и механизмов перемещения деталей. Наиболее распространенным типом автоматических линий с жёстким циклом являются **кареточные** линии, в которых реализуется периодическое и одновременное перемещение деталей на всех позициях.

Линии с гибким циклом называются **автооператорными** линиями. Кстати, в роли автооператора (манипулятора) может рассматриваться человек, и в этом случае линия обладает наибольшей гибкостью цикла обработки деталей.

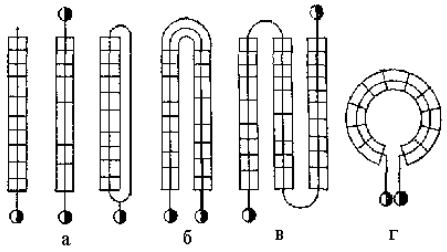



Рис. 4.1. Схемы расположения ванн в линиях:
а – прямолинейно-однорядная, б – овальная,
в – многорядная, г – карусельная (кольцевая)

По схеме расположения ванн линии могут быть (рис. 4.1) прямолинейно-однорядными (а), многорядными (б, в), в том числе овальными (б), и карусельными (кольцевыми) (г).

### 4.1. Кареточные автоматические линии с жёстким циклом

Кареточные автоматические линии предназначены для нанесения покрытий по одному технологическому процессу или нескольким незначительно отличающимся техпроцессам. Например, на одной линии цинкования можно наносить цинковое покрытие на детали с осветлением и пассивированием или без осветления и пассивирования. Кареточные линии применяются при производительности до 80 м2/ч для нанесения электрохимических покрытий и до 100 м2/ч для нанесения химических и анодно-окисных покрытий. Общий вид кареточной линии показан на рис. 4.2.

Принципиальными отличиями кареточных линий от автооператорных являются:

– расположение ванн в порядке последовательности операций технологического процесса, так как движение подвесок осуществляется только в одном направлении;

– одновременное горизонтальное перемещения всех подвесок;

– одновременный подъём всех подвесок в однопозиционных ван-

нах и подвесок, находящихся в крайних положениях многопозиционных ванн;

– одновременное опускание всех поднятых подвесок;

– расположение ванн длинной стороной вдоль оси гальванической линии.

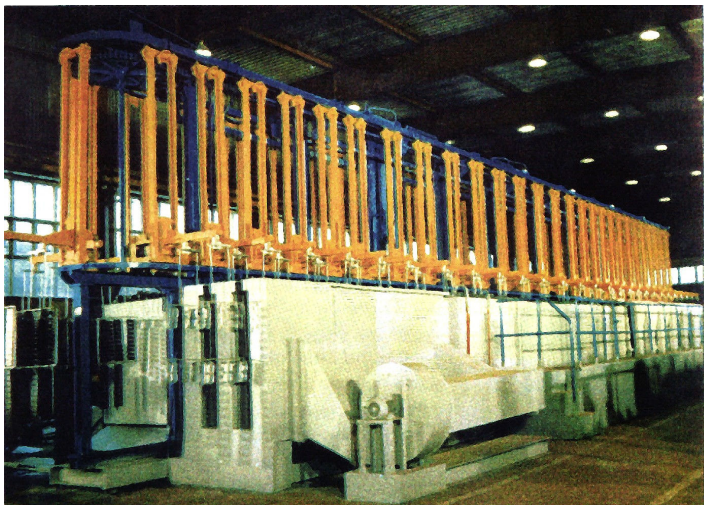


Рис. 4.2. Общий вид кареточной линии

Кареточные линии состоят из ванн, расположенных в порядке выполнения операций технологического процесса и, как правило, в два ряда по овалу (рис. 4.1 б), а также из сушильной камеры и нескольких свободных позиций для загрузки-выгрузки подвесок. Между рядами ванн на металлоконструкции расположены механизмы вертикального и горизонтального перемещения подвесок. Для вертикального перемещения служат каретки, для горизонтального – тележки. Каретка (рис. 4.3) представляет собой раму 1 с колесиками 2 и катодной штангой 3 (на рисунке показано упрощённое изображение каретки – отсутствуют токосъёмник и упоры для взаимодействия с механизмом подъёма и опускания).

Тележка (рис. 4.4) представляет собой раму 1 с колёсиками 2 для горизонтального передвижения и вертикальными направляющими 3, по которым поднимается и опускается каретка (рис. 4.3). Вертикальное перемещение каретки производится путём подъёма и опускания подъёмного моста, а горизонтальное перемещение тележек с каретками – тол-

кающими штангами или цепью механизма горизонтального перемещения.

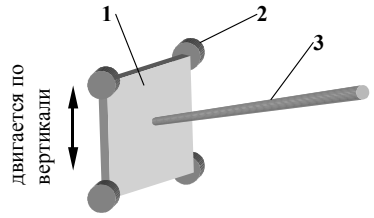



Рис. 4.3. Каретка: 1 – рама, 2 – колёсики, 3 – катодная штанга

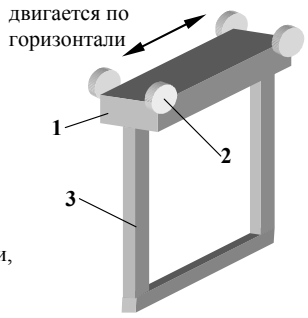



Рис. 4.4. Тележка: 1 – рама, 2 – колёсики, 3 – вертикальные направляющие

Каретки с подвесками перемещаются дискретно с определённым темпом и одновременно, т.е. через строго определённое время (называемое ритмом выхода подвесок), каретки поднимаются подъёмным мостом и на тележках передвигаются горизонтально на один шаг с одной позиции на другую, а затем опускаются и так далее. Шаг горизонтального перемещения строго определён программой и равен расстоянию между двумя соседними позициями. Время выдержки деталей в каждой ванне не одинаково. Поэтому ритм выхода подвесок задаётся равным наименьшему времени выдержки* и, чтобы соблюсти времена выдержки деталей в ваннах с более продолжительной обработкой, такие ванны делают многопозиционными, т.е. более длинными. В этих ваннах с общим для всей линии ритмом выхода подвесок каретки с подвесками не поднимаются, а перемещаются только горизонтально и в нижнем положении. Количество позиций, а значит и длина ванны, определяется делением времени выдержки деталей в этой ванне на ритм выхода подвесок.

Однопозиционные ванны в автоматических линиях предназначены для подготовительных операций (промывка, травление, активация и т.д.), а также для заключительных операций (пассивирование, уплотнение и др.). Время выдержки деталей в этих ваннах не может превышать ритма выхода подвесок с деталями. В многопозиционных ваннах произ-

водятся операции обезжиривания и нанесения покрытий, продолжительность которых больше ритма выхода подвесок с деталями. Общее количество тележек с каретками соответствует общему количеству позиций, включая позиции загрузки-выгрузки.

Линия работает следующим образом. На позициях загрузки-выгрузки, где каретки с подвесками занимают нижнее положение, производятся демонтаж обработанных деталей с подвесок и монтаж на подвески деталей, подлежащих обработке. В этот момент подъёмный мост линии находится в нижнем положении, а механизм горизонтального перемещения выключен. По окончании загрузки-выгрузки мост вместе с каретками, находящимися в однопозиционных ваннах и на последней позиции в многопозиционных ваннах, поднимается в верхнее положение, после чего включается механизм горизонтального перемещения. Все тележки как с поднятыми каретками, так и с каретками в нижнем положении передвигаются на один шаг, при этом сохраняется подвод тока к кареткам в нижнем положении. После окончания горизонтального перемещения и возврата механизма горизонтального перемещения в исходное положение происходит опускание моста и его выстой (выдержка), время которого задается ритмом выхода подвески с деталями. После выстоя моста цикл работы автоматически повторяется. Привод механизмов линии гидравлический.

Около ванны, в которой не всегда требуется обработка деталей, устанавливается механизм обхода ванн, который при необходимости задерживает каретки в верхнем положении, не давая им опускаться в эту ванну.

Исходя из особенностей технологической операции, конкретная ванна оснащается устройствами для перемешивания и нагрева, анодными или катодными штангами, фильтрующими устройствами, сливными карманами, а также выбирается определённая футеровка и теплоизоляция. Для сушки деталей в автоматической линии предусмотрена сушильная камера, в которой циркулирует горячий воздух, поступающий от калорифера.

Помимо кареточных тележечных существуют ещё кареточные бестележечные и бескареточные линии, которые в России не нашли широ-

---

[*] Около ванн с особо коротким временем выдержки (меньшим времени выстоя моста в нижнем положении) на раме металлоконструкции крепится механизм укороченной выдержки подвесок.

кого распространения.

Автоматические гальванические линии жёсткого цикла предназначены для работы в цехах с большой производственной программой в условиях массового и серийного производства при наличии стабильной продукции. Их основные недостатки:

– сложность перехода с одной программы на другую при изменении вида покрытия, его толщины, времени выдержки деталей в ванне, связанная со значительными изменениями в конструкции линии;

– необходимость установки промывочных ванн после каждой ванны химической или электрохимической обработки, так как подвески не могут совершать возвратно-поступательного движения;

– наличие многопозиционных ванн, так как темп горизонтального движения для всех подвесок одинаков.

Однако высокая производительность (до 100 $м^2$/ч и более) и надёжность в эксплуатации делает эти линии наиболее экономичными и достаточно перспективными.

### 4.2. Автооператорные автоматические линии с программным управлением

Автооператорные линии получили наибольшее распространение благодаря тому, что они могут выполнять широкий набор функций.

В автооператорных линиях можно осуществлять:

– как отдельные электрохимические или химические процессы, так и несколько процессов одновременно или поочерёдно;

– изменение последовательности и длительности технологических операций;

– нанесение покрытий с производительностью от 1 до 200 $м^2$/ч;

– обработку изделий как мельчайших, так и крупногабаритных длиной в несколько метров;

– обработку изделий на подвесках, в барабанах, корзинах или комбинированно.

Отличительными особенностями автооператорных линий являются:

– движение деталей в процессе обработки как в прямом, так и в обратном направлениях;

–ванны и другие позиции обработки могут располагаться не в последовательности выполнения технологических операций;

– возможность осуществления нескольких одноименных операций

на одной технологической позиции;

– наличие независимых транспортирующих органов с индивидуальными приводами перемещения и подъёма-опускания;

– неодновременность переноса обрабатываемых изделий;

– отсутствие жёсткой связи между грузозахватным элементом автооператора и подвеской с обрабатываемыми деталями;

– наличие устройства программного управления.

Отсюда вытекает главное преимущество автооператорных линий – они многопроцессны, т.е. на них возможно обрабатывать детали по различным технологическим процессам и совмещать в одной автоматической линии нанесение несколько видов покрытий.

В автооператорных линиях маршрут переноса деталей и длительность их пребывания на каждой позиции задаются технологически, однако перемещение самого автооператора не совпадает с последовательностью технологических операций и носит челночный характер. Например, автооператор может перенести одну подвеску с деталями с позиции загрузки на позицию обезжиривания, затем выгрузить другую подвеску из ванны покрытия в ванну промывки, после чего вернуться к первой подвеске и перенести её в ванну активирования и т.д. В зависимости от требуемой производительности в составе линии может быть несколько автооператоров, имеющих свои зоны обслуживания. Зоны обслуживания автооператоров перекрываются на одну, реже на несколько позиций. Каждый автооператор обслуживает не более 7–8 ванн.

Перенос подвески с деталями производится по заданной технологической схеме в соответствии с программой при помощи сигналов, поступающих от системы управления. В большинстве автоматических линий с программным управлением предусмотрена система ручного управления процессом, в этом случае автоматическая линия превращается в механизированную линию.

Автооператоры делятся на расцепляемые и нерасцепляемые. При обработке деталей в ванне расцепляемый автооператор может отделиться от штанги, несущей подвеску, и переместиться для выполнения операций на других позициях, а может оставаться в нижнем положении на время обработки деталей в данной ванне.

Автоматические линии с нерасцепляемым автооператором целесообразно применять в тех случаях, когда технологией предусмотрена непродолжительная выдержка деталей в ванне на всех операциях процес-

са. Как правило, если разница во времени выдержки на различных технологических позициях значительная, поэтому целесообразно использовать линии с расцепляемыми автооператорами, так как за время выдержки деталей в одной ванне автооператор успевает произвести необходимые перемещения на других позициях автоматической линии, что значительно увеличивает производительность автомата.

Автоматические линии с расцепляемым автооператором по принципу захвата приспособлений с деталями на штанге делятся на линии *с верхним и нижним холостым ходом автооператора*.

При переносе подвески с деталями в линиях с верхним холостым ходом автооператора совершается следующий цикл движений: перемещение автооператора без подвески в верхнем положении на рабочую позицию (вспомогательный ход), опускание автооператора в нижнее положение и захват штанги с подвеской, подъём в верхнее положение, горизонтальное перемещение с деталями, опускание на позицию, разжим захватов и подъём в верхнее положение. При такой схеме автооператор оснащён специальным захватом для зажима штанг.

Расцепляемые автооператоры с нижним вспомогательном ходом совершают следующий цикл движений: горизонтальное перемещение на позицию автооператора без подвески в нижнем положении (вспомогательный ход), захват штанги с подвеской, подъём вместе с подвеской и деталями из ванны, горизонтальное перемещение в верхнем положении вместе с деталями до следующей технологической позиции, опускание подвески с деталями в ванну и освобождение захватов. В автооператорах с нижним вспомогательным ходом значительно упрощается конструкция захвата штанги с подвеской и уменьшается количество вспомогательных ходов.

Различают линии с тельферными (подвесными), портальными и консольными автооператорами.

**Линии с тельферными (подвесными) автооператорами.** Тельферный (или подвесной) автооператор (рис. 4.5) представляет собой тележку с электромеханическими приводами горизонтального и вертикального перемещения. К тележке в качестве грузоподъёмного механизма крепится таль, при помощи которой осуществляются вертикальные перемещения подвески с деталями. Основание тележки укрепляется на монорельсе, смонтированном на определённой высоте над ваннами. Монорельс крепится, как правило, к потолочному перекрытию. Линии с

тельферными автооператорами пригодны для обслуживания ванн практически любой длины и высоты. По сравнению с другими типами линий занимаемая ими площадь меньше на 20-30 %, а металлоёмкость – на 10-15%. В тех случаях, когда крепление монорельса к потолочному перекрытию цеха связано с определёнными трудностями, его монтируют на вертикальных стойках, устанавливаемых на фундаменте или общей раме линии.

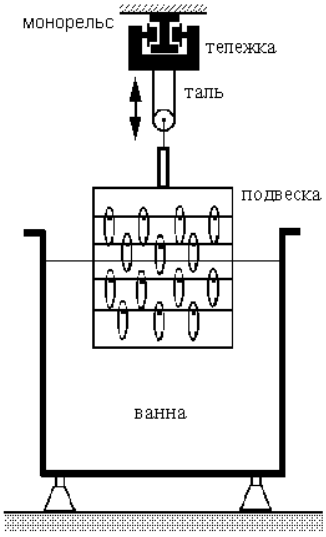



Рис. 4.5. Тельферный автооператор

Линии с тельферными автооператорами более стабильны в работе, чем линии с консольным автооператором (см. ниже), и имеют большую грузоподъёмность (от 200 до 2000 кг). Кроме того они удобны в эксплуатации, так как доступ к ваннам открыт с двух сторон.

К недостаткам автооператоров этого типа следует отнести незначительную жёсткость конструкции, неудобство монтажа и обслуживания, трудность позиционирования подвесок.

Для стабилизации движения тельферного автооператора в некоторых конструкциях для перемещения тележки устанавливают два параллельных монорельса, а захват с подвеской опускается и поднимается по двум жёстким направляющим (рис. 4.6).

**Линии с автооператорами портального типа.** Портальные автооператоры (рис. 4.7) применяют в линиях, расположенных в низких производственных помещениях, и в линиях с большими размерами ванн и массой транспортируемого груза более 2 т. Крепление путей для перемещения автооператоров в этих линиях двояко – к металлическим стойкам (или железобетонным колоннам) или непосредственно к корпусам ванн вдоль бортов ванн. Пути могут быть размещены практически на любой высоте от края ванны.

Автооператор может иметь два механизма подъёма с захватами, направленными в противоположные стороны, что позволяет одновременно обслуживать две гальванические ванны, убыстряя темп

работы автомата. При ритме выхода подвески более 4 мин применяют портальные автооператоры с одним механизмом подъёма.

Рис. 4.6. Общий вид линии с тельферными автооператорами

с двумя жёсткими направляющими для стабилизации движения захвата подвески и двумя монорельсами для стабилизации перемещения тележки

Производительность отдельных линий составляет до 150 м$^2$/ч, а единовременная площадь загружаемых деталей на одну подвеску – до 8 м$^2$. Такие линии наиболее широко применяются в промышленности вследствие высокой надёжности в работе, наибольшей производительности и грузоподъёмности автооператоров. Установка автооператоров портального типа не требует большой высоты цехового помещения.

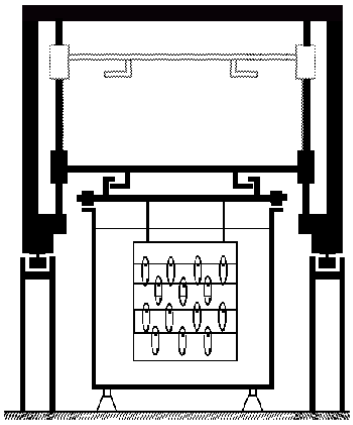


Рис. 4.7. Автооператор портального типа

Линии с портальными автооператорами (рис. 4.8) имеют ряд недостатков, сдерживающих их применение.

Главными недостатками линий с портальными автооператорами являются:

– затруднённость обслуживания ванн;

– необходимость частичного или полного демонтажа рельсовых путей при извлечении ванн для ремонта;

– дополнительное усложнение конструкции линии из-за введения устройств, обеспечивающих безопасность обслуживающего персонала;

– более быстрое коррозионное разрушение автооператоров вследствие близости их к зеркалу растворов;

– усложнение конструкций приводов горизонтального передвижения автооператоров.

Рис. 4.8. Общий вид линии с портальными автооператорами

**Линии с консольным автооператором**. Консольные ("Г"-образные) автооператоры (рис. 4.9) перемещаются по направляющим путям, установленным сбоку ванн. Грузозахватный орган автооператоров выполнен в виде консоли, проходящей над поверхностью ванн. Линии с консольными автооператорами по предпочтительности их использования занимают промежуточное положение между линиями с тельферными (подвесными) и портальными автооператорами. Автооператоры этих линий имеют боковую направляющую, поэтому для их размещения не

требуется большой высоты цеха. Потребителей привлекает их компактность, особенно при малых габаритах ванн и небольшой грузоподъёмности автооператоров.

Недостатки таких линий:

– свободное обслуживание ванн только с одной стороны;

– нечёткая стабилизация груза при перемещении;

– длина ванн не больше 1,6 м;

– грузоподъёмность автооператоров не выше 200 кг.

Общий вид барабанной линии с автооператорами консольного типа представлена на рис. 4.10.

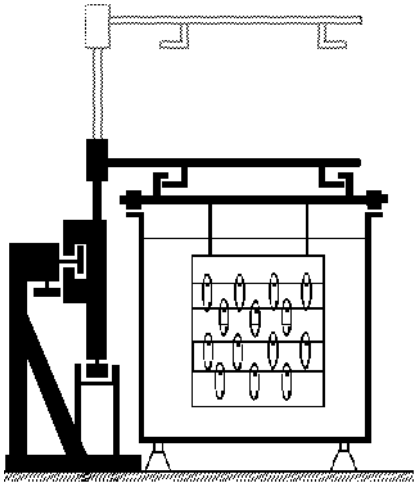


Рис. 4.9. Автооператор консольного типа

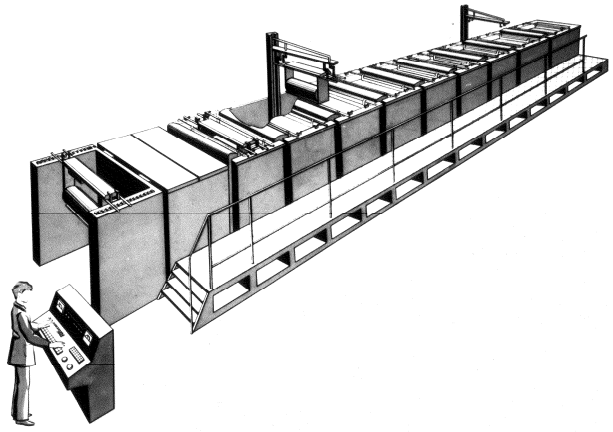


Рис. 4.10. Общий вид гальванической линии с консольными автооператорами

**Дуплекс-операторные линии.** К существенным недостаткам автооператорных линий прежде всего следует отнести сложность циклограмм, имеющих большое количество вспомогательных, возвратно-

поступательных горизонтальных ходов автооператора, что значительно усложняет электрическую схему блока управления и увеличивает технологическое время ритма выхода подвески. Оптимальный ритм работы существующих автооператорных линий составляет 7–8 мин.

В некоторых автооператорных линиях предусматривается сокращение ритма работы автомата за счёт уменьшения времени вертикальных перемещений и выдержки над ванной, что приводит к увеличению уноса электролита из ванны, загрязнению последующих ванн и сточных вод. Поэтому такой путь не всегда приемлем.

Наиболее целесообразно использование двухзахватных автоматических дуплекс-операторных линий (дуплекс-операторов). Принцип работы дуплекс-операторов основан на замене каждой обработанной подвески на необработанную последовательно во всех ваннах, когда дуплекс-автооператор останавливается над ними. Для этого на консоли автооператора расположена тележка с двумя вертикальными направляющими, по которым могут опускаться и подниматься два захвата. Когда автооператор останавливается у какой-либо позиции, тележка на нём может совершать движение назад или вперед вдоль линии на один шаг, равный расстоянию между направляющими. Таким образом, у любой ванны один автооператор, находясь в неподвижном положении, может одним захватом зацепить, поднять и переместить в сторону подвеску, а другим захватом опустить в эту ванну другую подвеску, вынутую из предыдущей позиции. Далее дуплекс-оператор перемещается на следующую позицию, где вновь происходит замена подвесок.

Таким образом, вследствие того, что движение дуплекс-оператора происходит только в одну сторону (возвратные движения производятся тележкой), значительно упрощается электрическая схема автомата, сокращается в 1,5–2 раза проходимый дуплекс-оператором путь по сравнению с длиной пути одноместных автооператоров и увеличивается производительность автооператора до 2-3 позиций в минуту.

Помимо прочего дуплекс-операторы способствуют сокращению выноса деталями технологических растворов и, следовательно, уменьшению загрязнения сточных вод за счёт увеличения времени стекания раствора с деталей в ванну, так как в период погружения новой подвески только что извлечённая подвеска хоть и сдвинута от центра ванны, всё равно находится над ванной, куда и стекает раствор.

Дуплекс-автооператорные линии (типа ДАО) для разных видов по-

крытий в настоящее время успешно работают на ряде заводов. Производительность таких линий 10–100 м$^2$/ч для гальванических покрытий и 20–200 м$^2$/ч для химических покрытий. Производительность линий с барабанами составляет 200, 500 и 1000 кг/ч.

### 4.3. Шнековые линии

Особую группу составляют автоматические линии, в которых детали перемещаются путём пересыпания (шнековые, ковшовые).

Шнековые линии предназначены для химической обработки и консервации мелких деталей. Как правило, такая обработка является составной частью общего технологического процесса. К конструктивным особенностям таких линий относится наличие шнековых барабанов по всей длине линии для непрерывного перемещения деталей в ходе обработки.

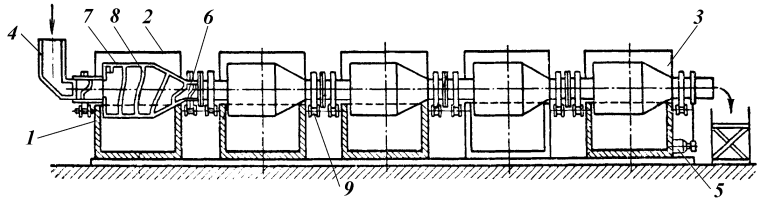



Рис. 4.11. Схематическое изображение шнековой линии

Линия (рис. 4.11) имеет ванны (1), закрытые кожухами (2), сушильную камеру (3), загрузочный лоток (4), привод вращения (5). Между ваннами установлены передаточные лотки (6). Каждая ванна имеет перфорированный барабан (7), внутри которого по стенкам укреплена спираль (8), играющая роль шнека. Детали засыпают в первый барабан через загрузочный лоток, а далее они транспортируются шнеком по дну барабана и через перегрузочный лоток в следующий барабан и так далее. После завершения всего цикла обработки детали высыпаются в приёмную тару. Вращение барабанов происходит от одного электродвигателя с помощью направляющих роликов (9).

Преимущества шнековых линий:

– простота механизации загрузочно-разгрузочных работ;

– отсутствие сложных электронных систем управления транспортированием деталей;

– полное укрытие ванн, что создаёт хорошие условия работы для

обслуживающего персонала.

Вместе с тем шнековые линии обладают существенными недостатками, к которым относятся:

– большая длина линий;

– невозможность возврата деталей и использования ванн промывок для многократной обработки в них деталей в течение одного цикла;

– большая материалоёмкость: по сравнению с автооператорной линией шнековая линия имеет вдвое большую удельную материалоёмкость (на единицу производительности) и в 1,5 раза меньший выход готовой продукции с 1 $м^2$ занимаемой площади.

## 5. ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

К вспомогательному оборудованию относятся фильтровальные установки, насосы для перекачки электролитов, различные ёмкости для хранения, транспортировки и корректировки растворов, а также сушильное оборудование и источники питания ванн.

### 5.1. Фильтровальные установки

Одним из требований, выполнение которых обусловливает высокое качество осадка, является чистота электролита. Это особенно необходимо для электролитов никелирования и меднения. Очистить электролит от механических примесей можно с помощью фильтрации на фильтровальных установках. Для фильтрации электролитов применяют фильтры, работающие под давлением: нутч-фильтры (направление силы тяжести и движения фильтрата совпадают) и пресс-фильтры (направление силы тяжести и движения фильтрата перпендикулярны).

Основными элементами фильтровальных установок (нутч-фильтров) являются фильтровальная камера с патронами или дисками из фильтровальных материалов и насос с электроприводом. Фильтровальные камеры выполнены из АВС/акрила, поливинилхлорида, полипропилена или нержавеющей стали.

В камерах с патронами располагают объёмные (хлопок, полипропилен, модифицированный акрил, стекловолокно, нейлон и прочие волокна), гофрированные и мембранные фильтрующие патроны, фильтрующие патроны в виде очищаемых гильз или угольные патроны, удерживающие частицы размером от долей микрона до 100 мкм.

Примером фильтровальной установки с фильтровальными патронами является установка (рис.5.1) фирмы Serfilco производительностью 25 м3/ч.

Рекомендуется выбирать систему с общей площадью фильтрующей поверхности, равной 1,5 – 3,0 $м^2$ на 1 $м^3$ раствора. Подача должна обеспечивать прохождения через фильтровальную установку 2 – 10 объёмов ванны в час в зависимости от необходимой чистоты раствора. Для жидкостей с высокой степенью загрязнения желательно использовать грубые фильтрующие материалы и высокую подачу. Увеличение числа фильтрующих патронов приводит к снижению подачи жидкости в пересчёте на один патрон, повышению эффективности фильтрации и снижению расхода фильтрующих патронов.

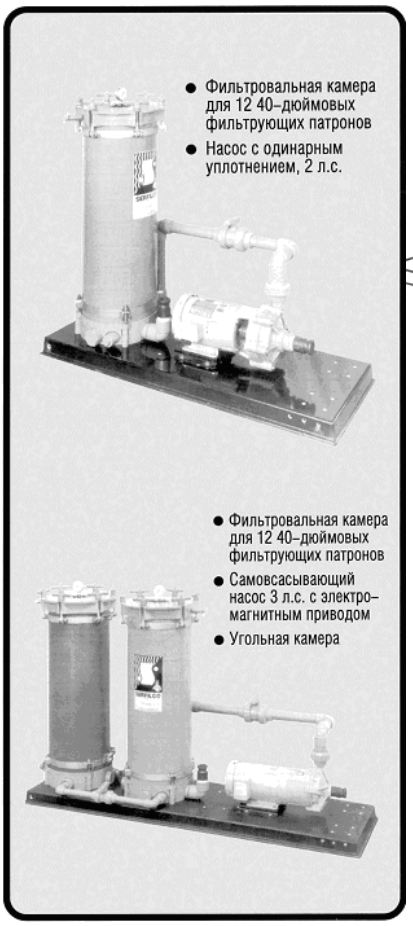



Рис. 5.1. Фильтровальные установки с фильтровальными камерами фирмы Serfilco

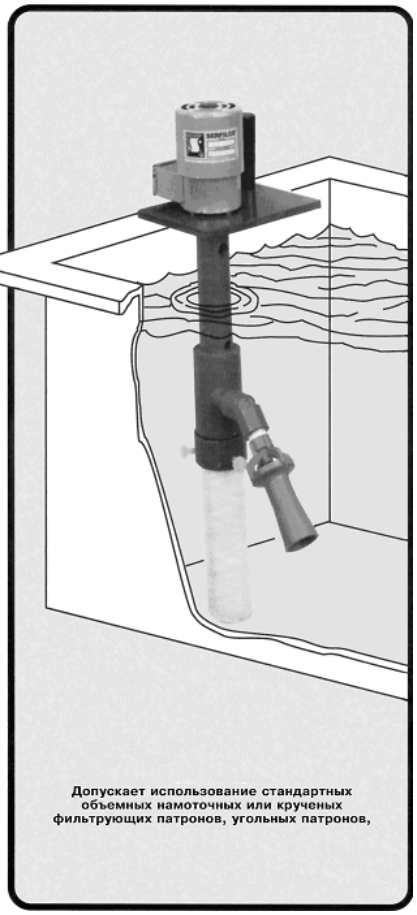



Рис. 5.2. Общий вид фильтровальной установки с фильтровальным патроном фирмы Serfilco, расположенной на борту ванны

Фильтровальные установки могут не иметь фильтровальных камер. В этом случае фильтровальные патроны располагаются непосредственно в ванне. На рис. 5.2 показаны общий вид такой установки и её расположение в ванне.

Примером фильтровальной установки с фильтровальными дисками является установка (рис.5.3) завода гальванического оборудования "Гранит-М" (г.Уварово, Тамбовской обл.) производительностью до 3 $м^3$/ч.

Фильтрация происходит по системе: ванна–фильтровальная камера–ванна или ванна–фильтровальная камера–бак хранения–ванна. Установка смонтирована на тележке и состоит из насоса с электродвигателем, одного (чаще двух) бачка с фильтровальными дисками и запорной арматуры. Фильтровальные диски перфорированы и изготовлены из полипропилена по размеру внутреннего диаметра бачка. На дисках закреплено фильтровальное полотно из хлорина, бязи и т.п. Диски монтируют на центральный стержень в единый пакет, стягивают фиксирующей гайкой, устанавливают внутри корпуса бачка и плотно закрывают крышкой. Фильтровальный бачок, проточная часть насоса и арматура изготовлены из полипропилена. Эти установки применяют для фильтрации кислых и щелочных электролитов с температурой до 60°С.

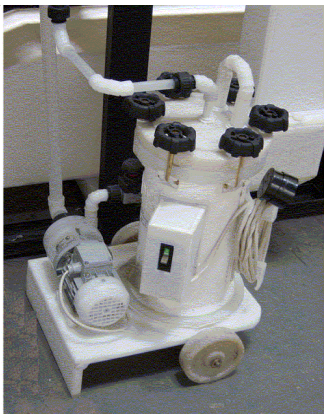


Рис. 5.3. Общий вид фильтровальной установки с фильтровальными дисками завода гальванического оборудования "Гранит-М"

Для обеспечения надёжной фильтрации необходимо учитывать производительность фильтра так, чтобы за 1 ч работы весь объём ванны проходил через фильтр.

Очистку загрязненных дисков проводят вне корпуса фильтровальных бачков. Для этого пакет фильтрационных дисков извлекают из корпуса, промывают водой и, в зависимости от фильтруемого электролита, подвергают химической обработке. Например, при фильтрации электролита никелирования основное загрязнение – это гидроксид железа, который легко растворяется в слабых растворах соляной кислоты, после чего пакет фильтров промывают водой и используют в дальнейшей работе.

Кроме фильтров из ткани используют **намывные фильтры**, в которых на тканевую основу фильтровальных дисков намывается фильтрующая добавка (кизельгур, перлит, древесные опилки, активированный уголь и т.д.). Фильтры такого типа более сложны в обслуживании, занимают больше места, но обеспечивают лучшие результаты очистки. Они состоят из бака-фильтра, намывного бака, фильтра предварительной очистки, насоса, арматуры, манометра для контроля фильтрации и

визира для контроля за качеством намывки фильтрующего слоя. Внутренние поверхности бака-фильтра и намывного бака футерованы эбонитом. Носителем фильтрующего материала служат пластмассовые перфорированные диски, с двух сторон которых наклеена ткань (тергаль для кислых электролитов и нейлон для щелочных). Сама ткань не обладает фильтрующей способностью, частота сетки ткани – от 100 до 200 мкм. Фильтровальные диски размещены в баке-фильтре.

Перед пользованием фильтровальной установкой на ткань наносят слой фильтрующей добавки следующим образом. В намывной бак заливают раствор электролита или воду, засыпают необходимое количество фильтрующей добавки и наносят её на ткань дисков с помощью насоса фильтровальной установки по схеме: намывной бак–фильтровальная камера–намывной бак, до тех пор пока раствор не будет полностью освобожден от фильтрующей добавки. Затем в случае необходимости на слой фильтрующей добавки тем же способом наносится поглощающий слой (например, активированный уголь) для адсорбирования органических примесей во время фильтрации. Контроль за качеством намывки фильтрующего слоя проводят визуально через визир.

Необходимость чистки фильтра определяют по манометру: как только давление достигнет максимального значения, указанного в паспорте, диски необходимо промыть и намыть на них новый фильтрующий слой. Материал дисков выдерживает температуру до 70ºС.

Намывной бак и насос фильтра могут служить также для добавления в ванны растворов компонентов электролитов. В этом случае бак-фильтр отключается от системы.

Вместо бачка с фильтровальными дисками можно использовать фильтровальные камеры с различными фильтрующими материалами.

Для очистки электролита от механических примесей, ускоренного процесса фильтрации электролитов применяют **пресс-фильтры с вертикальными камерами** модели АПМ-112. На тележке смонтированы фильтр, редуктор, спаренный диафрагменный насос, который приводится в движение электродвигателем. Конструкция тележки обеспечивает её устойчивость и малый радиус поворота. Передвижение тележки производится вручную с помощью ручки.

На рис. 5.4 показана схема камерного пресс-фильтра. Установка действует следующим образом. Электролит из ванны 1 по всасывающей трубе 2 насосом 3 подаётся по трубе 4 через открытый вентиль 5 в на-

ружную полость пресс-фильтра 6. Преодолевая сопротивление суконного фильтра 7, электролит попадает во внутреннюю полость пресс-фильтра, откуда по трубе 10 возвращается в ванну. При фильтрации электролита вентили 8 и 11 перекрыты, а вентили 5 и 9 открыты. При промывке фильтра труба 2 опускается в ёмкость с водой, вентили 5 и 9 перекрываются, а вентили 8 и 11 открываются. Вода насосом подается во внутреннюю полость пресс-фильтра, вымывает из сукна механические частицы и шлам и через открытый вентиль 11 сбрасывается в коллектор.

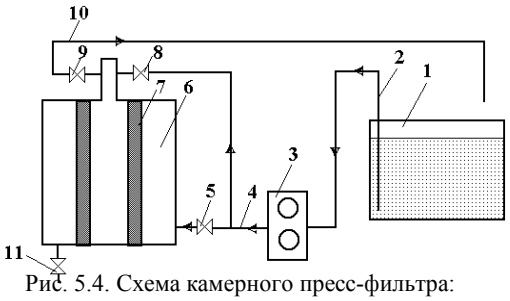


Рис. 5.4. Схема камерного пресс-фильтра:
1 – ванна, 2 – всасывающая труба, 3 – диафрагменный насос, 4 – нагнетательная труба, 5, 8, 9, 11 – вентили, 6 – наружная полость, 7 – суконный фильтр, 10 – подающая труба

Все детали пресс-фильтра, имеющие контакт с электролитом, выполнены из сталей 12Х18Н10Т и 1Х17Н2. Пресс-фильтр может использоваться для непрерывной и периодической фильтрации. Его производительность около 10 л/мин, рабочее давление 0,2 МПа.

Отечественная промышленность выпускает **пресс-фильтры с горизонтальными камерами автоматизированные (ФПАКМ)** с разной поверхностью фильтрования, в которых направления силы тяжести и движения фильтрата совпадают (рис. 5.5). Рабочее давление 0,2-1,6 МПа. Рассматриваемый пресс-фильтр предназначен для разделения тонкодисперсных суспензий при концентрации твёрдой фазы 10-50 г/л и температуре до 80 °С.

Пресс-фильтр состоит из набора горизонтальных прямоугольных плит – верхней и нижней поддерживающих и средних фильтровальных. Между плитами зигзагообразно протянута бесконечная лента из фильтровальной ткани. Фильтровальные плиты могут перемещаться вверх (сжатие) или вниз (открытие) по четырем направляющим за счёт перемещения нижней поддерживающей плиты. Фильтровальные плиты показаны в разрезе на рис. 5.3. Верхняя часть 1 каждой плиты покрыта перфорированным листом 2, под которым находится пространство для приёма фильтрата 3. Нижняя часть, выполненная в виде рамы 4, образу-

ет при сжатии плит камеру 5 для суспензии и осадка. Между верхней и нижней частями фильтровальных плит расположены эластичные водонепроницаемые диафрагмы 6. Фильтровальная ткань 7 размещается на перфорированном листе 2.

В период фильтрования в камеры 5 поступает из коллектора 8 по каналам 9 фильтруемая суспензия. При этом фильтрат отводится из фильтра по каналам 10 в коллектор 11. Затем осадок отжимается диафрагмой 6, для чего в пространство 12 по каналам 13 подаётся вода под давлением. После отжатия осадка плиты раздвигаются, образуя щели,

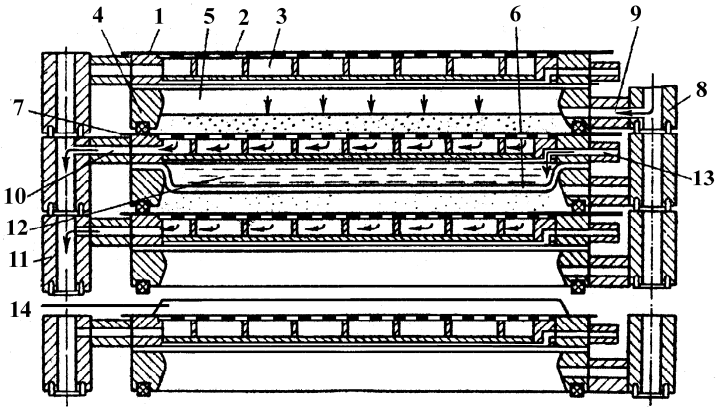



Рис. 5.5. Пресс-фильтр с горизонтальными камерами (ФПАКМ): 1 – верхняя часть плиты, 2 – перфорированный лист, 3 – пространство для приёма фильтрата, 4 – нижняя часть плиты в виде рамы, 5 – камера для суспензии и осадка, 6– эластичная водонепроницаемая диафрагма, 7 – фильтровальная ткань, 8 – коллектор для подачи суспензии, 9, 10, 13 – каналы, 11 – коллектор для отвода фильтрата, 12 – пространство для воды, 14 – отжатый осадок

через которые удаляется фильтровальная ткань вместе с осадком 14.

Основными преимуществами пресс-фильтров с горизонтальными камерами являются полная автоматизация, развитая поверхность фильтрования (до 25 $м^2$), возможность при помощи диафрагмы регулировать толщину и влажность осадка, а также хорошие условия для регенерации ткани в процессе работы фильтра.

К недостаткам пресс-фильтров с горизонтальными камерами следует отнести сложность конструкции, периодичность работы, высокую стоимость оборудования.

### 5.2. Насосы

Как для фильтрации, так и для перекачки растворов необходимы насосы.

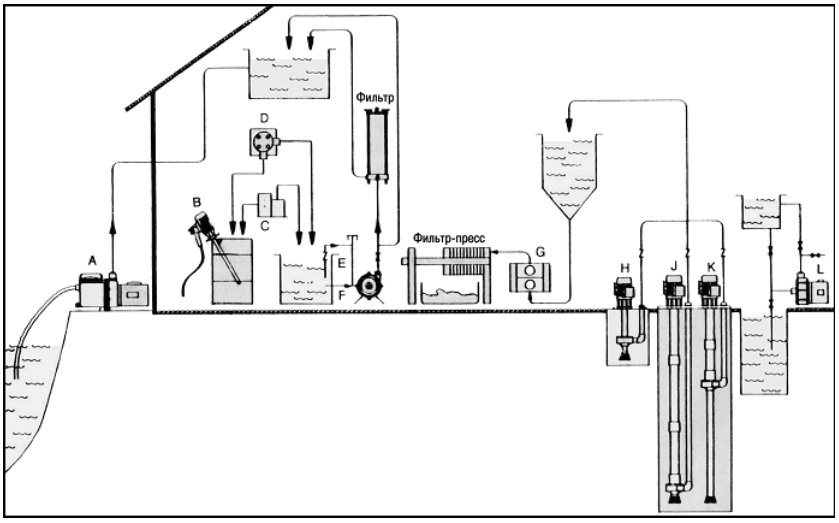



Рис. 5.6. Классификация насосов по их применению, принятая в иностранных фирмах: A – самовсасывающий центробежный насос; B – бочковый, баллонный, перекачивающий, центробежный, винтовой или раздаточный поршневой насос; C – шланговый, шестерёнчатый, диафрагменный насос; D – дозировочный насос; E – насос с одним входом, с незатапливаемой всасывающей трубой, непосредственным приводом или с электромагнитной муфтой; F – насос с одним входом, затапливаемой всасывающей трубой, непосредственным приводом или с магнитной муфтой; G – диафрагменный насос; H – вертикальный консольный насос (без подшипников); J – вертикальный консольный насос (с подшипниками); K – вертикальный консольный насос (с подшипниками и удлиненной всасывающей трубой); L – насос с одним входом, клапанами с ручным управлением и заливочным баком

Различают насосы двух основных типов: динамические и объёмные. В динамических насосах жидкость перемещается при воздействии сил на незамкнутый объём жидкости, который непрерывно сообщается со входом в насос и выходом из него. Динамические насосы по виду сил, действующих на жидкость, подразделяются на лопастные (центробежные и осевые) и насосы трения (вихревые и струйные). В объёмных насосах жидкость перемещается (вытесняется) при изменении замкнутого объёма жидкости, который периодически сообщается со входом в

насос и выходом из него. Группа объёмных насосов включает насосы, в которых жидкость вытесняется из замкнутого пространства телом, движущимся возвратно-поступательно (поршневые, плунжерные, диафрагменные насосы), или имеющие вращательное движение (шестерёнчатые, пластинчатые, винтовые насосы).

На рис. 5.6 показана классификация насосов различного применения, принятая зарубежными фирмами.

В зависимости от характера перекачиваемого электролита применяют насосы в коррозионностойком исполнении. Для гальванического производства в России изготавливаются насосы следующих типов: Х – центробежные для химических производств с горизонтальным подводом жидкости по оси насоса, центробежные погружные насосы ХП, насосы-дозаторы НД.

*Центробежные химические насосы типа Х, АХ и ТХ* применяют для подачи холодных и горячих растворов кислот, щелочей и солей плотностью не более 1850 г/см$^3$. Производительность таких насосов 6,3-500 м$^3$/ч, напор 20-80 м водяного столба.

*Центробежные химические насосы типа ХЦМ* с магнитной муфтой применяют для перекачивания агрессивных жидкостей при температуре до 80 °С: растворов азотной (концентрацией не более 40 %), серной (концентрацией не более 70 %), фосфорной (концентрацией не более 90 %), соляной (концентрацией не более 30 %) кислот и растворов щелочей (концентрацией не более 30 %). Производительность таких насосов 1-12 м$^3$/ч, напор 2-30 м водяного столба.

*Насосы центробежные погружные типа ХП* применяют для перекачивания химически активных чистых и загрязнённых жидкостей с температурой до 80°С. Содержание абразивных включений в перекачиваемой жидкости должно быть не более 0,2 % по массе и размером частиц до 0,2 мм. В частности, насосы ХП в цехах гальванопокрытий применяют для перекачивания из сборников кислых и щелочных промывных стоков, загрязнённых шламом и фильтрующими материалами, углём, асбестом. Производительность таких насосов 5-25 м$^3$/ч, напор не превышает 25 м водяного столба.

*Насосы-дозаторы НД* – одноплунжерные горизонтальные насосы простого действия с подачей, регулируемой вручную при остановленном электродвигателе. Насосы-дозаторы применяют для объёмного напорного дозирования нейтральных и агрессивных жидкостей, эмульсий

и суспензий с концентрацией неабразивной твёрдой фазы до 10 % по массе при температуре до 200 °С. В гальванических цехах эти насосы применяют для выполнения корректировочных работ по подаче кислых и щелочных растворов. После окончания перекачки жидкостей, склонных к выделению солей и кристаллизации, необходимо промыть насос, что предупреждает преждевременный износ плунжера и уплотнения. Производительность таких насосов 0,6-2,5 $м^3$/ч, максимальное давление нагнетания 1 МПа.

### 5.3. Сушильное оборудование

Выбор сушильного оборудования определяется в основном массой, габаритными размерами и производительностью линии. Наиболее часто в механизированных и автоматических линиях используют сушильную камеру. При работе на стационарных ваннах сушку деталей производят вне линии рабочих ванн, для чего используют сушильные шкафы.

*Сушильные камеры* (рис. 5.7) представляют собой открытую сверху ванну, в которой детали обдуваются горячим воздухом, нагретым в калорифере с помощью пара или электрообогревателей. Корпус камеры имеет теплоизоляцию. Снизу камеры имеется съёмное сетчатое дно, с помощью которого можно быстро убрать упавшие с подвесок детали. Отсос воздуха осуществляется из верхней части сушильной камеры.

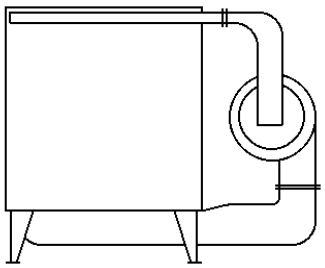


Рис.5.7. Сушильная камера

Работа сушильной камеры происходит следующим образом: воздух вентилятором прогоняется через калорифер, нагревается и через щели внизу и сбоку подаётся внутрь камеры, где обдувает и сушит детали. После чего, поднимаясь вверх, засасывается вентилятором и вновь проходит тот же путь. Таким образом осуществляется рециркуляция воздуха. Часть отсасываемого из камеры горячего влажного воздуха поступает в общую вытяжную вентиляционную систему линии. Количество его регулируется шибером. В подающем воздуховоде (после калорифера) установлен термометр, который поддерживает заданную температуру сушки, подавая сигнал на включение или отключение ТЭНов в калорифере. Мелкие детали, обрабатываемые в барабанах, колоколах и корзи-

нах, высыпаются из них в сетчатый поворотный лоток на дне сушильной камеры, через который снизу продувается нагретый воздух. После окончания сушки лоток поворачивается пневмоцилиндром на некоторый угол и детали скатываются из лотка в подготовленную тару. Для изменения положения деталей и равномерного их высушивания в некоторых сушильных камерах предусмотрено либо встряхивание, либо поворачивание сетчатых лотков.

*Сушильный шкаф* представляет собой металлический каркас с теплоизоляцией, внутри которого располагаются лотки для деталей или перекладины для завешивания подвесок. Загрузка деталей в шкаф осуществляется не сверху, как в сушильные камеры, а через боковую дверь. Обогрев осуществляется электронагревателями, расположенными в нижней части шкафа. Кроме того, шкаф снабжен вытяжной вентиляцией, имеющей регулирующую заслонку. Поддержание температуры сушки осуществляется автоматически.

При обработке мелких механически прочных деталей и массой менее 100 г сушку производят в центрифугах. *Центрифуга* состоит из корпуса, вращающегося перфорированного барабана, электродвигателя, устройства для подъёма барабана и крышки. На крышке монтируется вентилятор, подающий воздух на детали, иногда с обогревом. Жидкость удаляется из барабана при его вращении через перфорацию за счёт центробежной силы, а затем через сливные отверстия корпуса в сток.

### 5.4. Источники питания ванн

Для питания гальванических ванн используется постоянный ток, получаемый от источников питания – полупроводниковых выпрямителей и в отдельных случаях – от электромашинных генераторов. От технических характеристик источников питания зависит эффективность технологического процесса: качество гальванопокрытий, производительность, экономические показатели.

*Электромашинный генератор* состоит из шунтовой динамомашины постоянного тока и трёхфазного электромотора, установленных на общей плите. Двигатель-генераторы серии НД выпускались Ярославским электромашиностроительным заводом "ЯЭМЗ" на напряжение 6/12 В и силу тока от 500/250 до 10000/5000 А. Агрегаты в течение многолетней практики оправдали себя в условиях работы в цехах непрерывно в течение ряда смен и десятков часов. В настоящее время генера-

торы практически не выпускаются, но на некоторых предприятиях они ещё работают.

*Выпрямитель* состоит из трансформатора, преобразующего ток высокого напряжения (220 или 380 В) и малой силы в ток низкого напряжения и большой силы, и электрических вентилей главным образом на основе тиристоров (селеновых, кремниевых или германиевых), преобразующих переменный ток в постоянный.

Выпрямители с селеновыми вентилями:

– имеют большие габариты;

– пробивное напряжение 17 В, поэтому не рекомендуется их нагружать слабым током: у некоторых моделей напряжение трансформатора при малой нагрузке может подскочить выше пробивного напряжения вентиля. Так, например, в паспорте старых селеновых выпрямителей было указано на недопустимость эксплуатации их при нагрузке, меньшей половины номинальной.

Выпрямители с германиевыми вентилями вдвое меньше и вдвое легче выпрямителей с селеновыми вентилями, но боятся перегрузок.

Выпрямители с кремниевыми вентилями имеют малые размеры и меньше боятся перегрузок, пробивное напряжение кремниевых вентилей 200-1000 В.

В зависимости от назначения и мощности применяемого оборудования в гальванотехнике используются различные схемы (рис. 5.8) выпрямления: однофазные (*а* – однополупериодный, *б* – двухполупериодный), 2-фазные (*в*), 3-фазные (*г*) и 6-фазные (*д*); нереверсивные и реверсивные; с отсечкой (*е*); асимметричные (*ж*) и т.п. Однофазные выпрямители предназначены для питания маломощных (в основном лабораторных) потребителей. Многофазные выпрямители имеют ряд преимуществ перед однофазными: лучшие удельные технико-экономические показатели, сим-

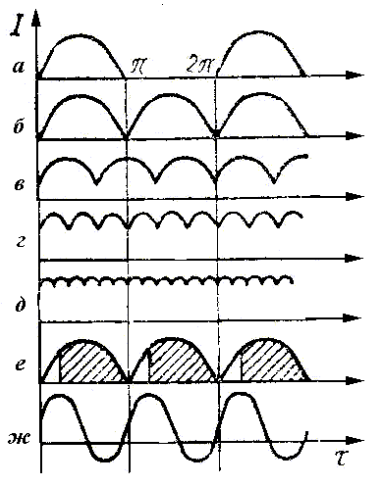



Рис. 5.8. Некоторые формы токов, используемые для питания гальванических ванн

метричную загрузку всех трёх фаз питающей сети, меньшие пульсации выпрямленного тока и т.п. Эти достоинства и определили широкое применение многофазных выпрямителей в гальванических цехах.

Пульсации для многих гальванических процессов вредны. Между величиной пульсаций тока и качеством гальванических покрытий имеется прямая взаимосвязь: например, при хромировании заметное снижение блеска покрытия начинается при коэффициенте пульсации 20-25 %, при пульсации в 40 % покрытие становится матовым, а затем матово-серым; твёрдость и износостойкость покрытия начинает снижаться при коэффициенте пульсации 20-25 %. В некоторых случаях пульсации дают положительные результаты: окрашивание оксидных плёнок алюминия, оксидирование меди, анодирование металлов и т.п. Для сглаживания пульсаций выпрямленного тока до уровня, допустимого по условиям эксплуатации, применяются сглаживающие фильтры.

Одним из эффективных способов улучшения качества гальванических покрытий является автоматическое реверсирование тока в ванне (изменение полярности). Осаждение металлов в случае реверсирования тока может осуществляться при более высокой рабочей плотности тока по сравнению с осаждением покрытия на постоянном токе. При реверсировании тока достигается уменьшение пористости покрытия, увеличение адгезии, снижение внутренних напряжений, наводороживания основы, повышение твёрдости покрытия. Осаждающиеся при этом покрытия имеют мелкокристаллическую структуру.

В некоторых гальванических цехах ещё эксплуатируются селеновые выпрямители типа **ВС**, **ВСА**, **ВСГ**, **ВСМР** с воздушным и масляным охлаждением с номинальным напряжением 3,5/4,5/6/12 В и силой тока 100/200/300/600/1000/1200/2000/2500/5000 А с воздушным и масляным охлаждением. Недостаток их – отсутствие плавного регулирования напряжения и плотности тока.

В своё время изготавливались германиевые выпрямители типа **ВАГГ** для напряжения 4,5/6/9/12 В и на силу тока 600/3000/6000 А.

Выпрямительные агрегаты типа **ВАКГ** с кремниевыми вентилями являются преобразователями с регулированием дросселями насыщения ДН на напряжение 6/9/12/18 В и силу тока 320/630/1600/3200 А. По сравнению с тиристорными агрегаты серии ВАКГ имеют большие габариты, массу; они хуже регулируются.

Наиболее распространены выпрямительные агрегаты на тиристо-

рах серии **ВАК** и **ВАКР** и (В – выпрямительный, А – агрегат, К – кремниевые вентили, Р – реверсивный). Агрегаты имеют ручное плавное регулирование выпрямленного напряжения до 6/12/9/18/24/48 В; автоматическую стабилизацию выпрямленного напряжения и тока до 100/320/6301600/3200/6300/12500/25000 А с точностью стабилизации ±5 %, плотности тока с точностью стабилизации ±10 % при изменении нагрузки от 25 до 100 % от номинальной. Выпрямители марки ВАКР обеспечивают автоматическое реверсирование выпрямленного тока и длительную работу с любой полярностью. Ориентировочный срок службы агрегатов 15-20 лет. Вероятность отказа при работы на протяжении 500 ч не ниже 0,75.

В связи с возросшими требованиями к качеству гальванопокрытий и с развитием новых комплектующих изделий (сильноточных тиристоров на низкоомном кремнии, микросхем и т.п.) была разработана и активно внедряется в производство новая серия преобразователей типов: **ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВР** и **ТВИ** (Т – тиристорный, Е – естественное охлаждение, В – водяное охлаждение тиристоров, Р – реверсивный, И – импульсный). В выпрямителях этой серии существенно улучшены технические показатели: повышена точность стабилизации напряжения и тока до ±3 %, а плотности тока – до ±6%, снижена пульсация выпрямленного тока, предусмотрено дистанционное и программное управление выпрямителями, повышен КПД на 1-1,5 %, уменьшены габаритные размеры, унифицированы схемные и конструктивные решения агрегатов и их узлов, что в свою очередь улучшило их ремонтоспособность. Диапазон ручного регулирования тока (до 100/400/400/800/1600/3150/6300/12500/25000/315 А) и напряжения (до 12/24/48/115 В) от 10 до 100 %. Реверсивные агрегаты позволяют получать постоянный ток с автоматической и ручной сменой его полярности. В агрегатах предусмотрена раздельная установка значений постоянного тока и напряжения каждого направления с длительностью от 2 до 200 с (дискретность 2 с) прямого тока и от 0,2 до 20 с обратного тока (дискретность 0,2 с). Импульсные агрегаты ТВИ обеспечивают на выходе как импульсный ток, так и постоянный. Длительность импульсов тока от 0,01 до 0,1 с и пауз между ними от 0,03 до 0,5 с. Импульсные агрегаты в зависимости от типа комплектуются дополнительными устройствами: пультом дистанционного управления, пультом программного управления, сглаживающим реактором.

Выпрямители можно устанавливать непосредственно около ванн прямо на пол; они не боятся влажности воздуха до 80%, но нуждаются в периодической просушке и возобновлении пропитки лаком обмоток трансформатора, дросселя и т.п. Недопустимо попадание брызг растворов и воды внутрь выпрямителя, опасны едкие газы – пары крепких дымящих кислот. Наличие в воздухе паров кислот и щелочей вызывает постепенное разрушение узлов выпрямителей; особенно интенсивно это происходит в нерабочее время, когда отключена вентиляция в цехе. На ряде предприятий ванны и выпрямители размещены в разных помещениях, иногда на разных этажах. Чаще всего агрегаты устанавливают в полуподвале, так называемом техническом этаже, расположенном непосредственно под помещением, где находятся гальванические ванны. Это максимально уменьшает расстояние между выпрямителями и гальваническими ваннами и исключает воздействие агрессивной среды на источники питания.

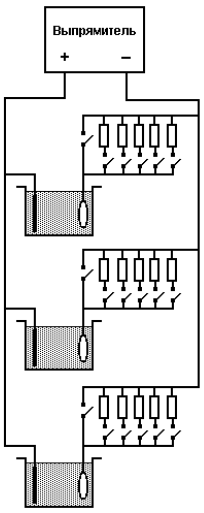



Рис.5.9. Схема подключения нескольких ванн к одному выпрямителю

Желательно каждую гальваническую ванну подключать к одному выпрямителю. В случае параллельного питания нескольких ванн от одного источника, что случается довольно часто, на распределительном щите около каждой ванны необходима установка регуляторов силы тока, которые представляют собой секционный реостат, включённый последовательно с гальванической ванной (рис.5.9). Его предпочтительно делать из включаемых (при помощи однополюсных рубильников) параллельно секций, каждая из которых имеет омическое сопротивление, вдвое большее предыдущей. Количество таких секций достигает 5-7. Иногда к ним добавляют ещё один рубильник, закорачивающий реостат полностью или отключающий ванну. Хотя нагрузочный реостат удобен в работе, он неэкономичен, так как требует повышения напряжения от выпрямителя и приводит к потере электроэнергии из-за нагрева.

## 6. РАСЧЁТ ПРОИЗВОДСТВА

Прежде, чем приступать к расчёту производства, необходимо ответить на вопросы: чем, что и сколько покрывать? Ответы на эти вопросы составляют исходные данные для расчёта гальванического производства. Схематично процесс расчёта представлен на рис. 6.1.

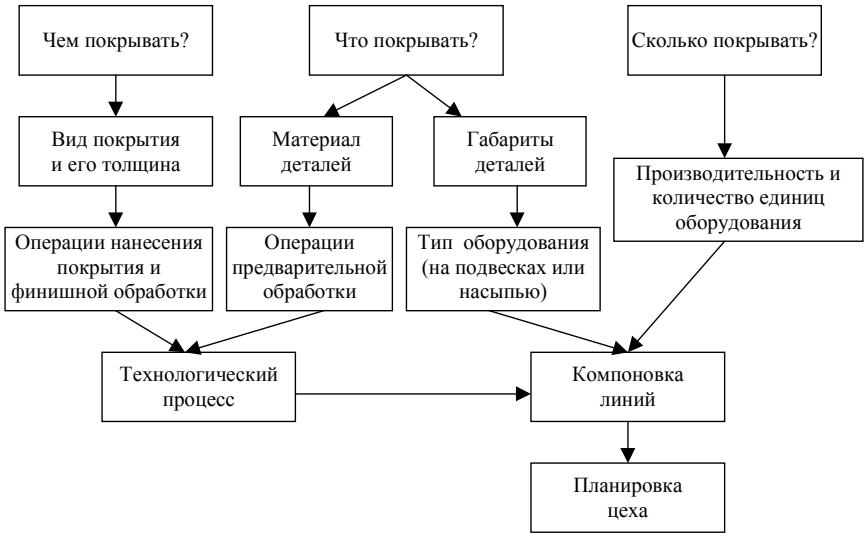



Рис. 6.1. Схема расчёта гальванического производства

Вид и толщина покрытия (чем покрывать?) определяются конструктором совместно с технологами, исходя из условий эксплуатации изделий и на основании свойств и назначения покрытий, и указываются на чертежах в виде шифра покрытия. В шифре указывается:

Сведения, составляющие основное содержание задания на проектирование цехов гальванических производств, заключены в так называемом шифре покрытия. В шифре указывается:

- способ обработки основного металла: крацевание – крц, сатинирование – стн, матирование – мт, механическое полирование – мп, химическое полирование – хп, электрохимическое полирование – эп, пассивирование – Хим.Пас.
- способ получения покрытия: анодный – Ан, химический – Хим, катодный – не указывается, контактный – Кт, горячий – Гор, диффузионный – Диф, конденсационный (вакуумный) – Кон;

- наименование материала покрытия: алюминий – А, бор – Б, висмут – Ви, Вольфрам – В, железо – Ж, золото – Зл, индий – Ин, иридий – Ир, кадмий – Кд, кобальт – Ко, медь – М, молибден – Мо, никель – Н, олово – О, палладий – Пд, платина – Пл, рений – Ре, родий – Рд, рутений – Ру, свинец – С, серебро – Ср, сурьма – Су, титан – Ти, хром – Х, цинк – Ц, фосфор – Ф. В обозначениях сплавов указывают металлы (через дефиз) в порядке убывания их содержания в сплаве, в скобках указывается их максимальную массовую долю в сплаве кроме последнего компонента;
- минимальная толщина покрытия (мкм) в соответствии с рядом толщин:

для драгоценных металлов и их сплавов: 0,1; 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6;

для серебра и его сплавов: 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12;

для других металлов и их сплавов: 0,25; 0,5; 1; 3; 6; 9; 12; 15; 18; 21; 24; 30; 35; 40; 45; 50; 60;

при необходимости в обозначении покрытия допускается указывать минимальную и максимальную толщины через дефис;

- обозначение неметаллических неорганических покрытий: оксидное – Окс, фосфатное – Фос, эматалевое – эмт;
- свойства покрытий: зеркальное – зк, блестящее – б, полублестящее – пб, матовое – м, пористое – пор, "молочное" – мол, твёрдое – тв, износостойкое – изн, электропроводное – э, электроизоляционное – эиз, чёрное – ч, цвет – полное наименование цвета, при необходимости обозначают цвет хроматной плёнки: хаки – хаки, бесцветной – бцв; цвет радужной плёнки – без обозначения.
- вид дополнительной обработки покрытия: фосфатирование – фос, хроматирование – хр, оксидирование – окс, термообработка – т, оплавление – опл, гидрофобизирование – гфж, пропитка маслом – прм, наполнение в воде – нв, наполнение в растворе хроматов – нхр, наполнение органическими красителями – ч (чёрный, другие цвета указываются полностью), получение окрашенных покрытий анодированием – Аноцвет, нанесение лакокрасочных покрытий – лкп.

В обозначении покрытия не обязательно наличие всех перечисленных составляющих. Допускается в шифре покрытия указывать способ получения, материал и минимальную толщину покрытия, при этом остальные составляющие условного обозначения указывают в технической документации.

Покрытия, используемые в качестве технологических (например,

цинковое при цинкатной обработке алюминия и его сплавов, никелевое на коррозионностойкой стали, медное на сплавах меди, медное на стали из цианистого электролита перед кислым меднением) допускается в обозначении не указывать.

Запись шифра покрытия производят в строчку. Все составляющие обозначения отделяют друг от друга точками, за исключением материала покрытия и толщины, а также обозначения дополнительной обработки лакокрасочным покрытием, которое отделяют от обозначения гальванического покрытия чертой дроби.

Обозначение способа получения и материала покрытия следует писать с прописной буквы, остальных составляющих – со строчных.

***Пример***: Ц9.хр.бцв – цинковое покрытие толщиной 9 мкм с бесцветным хроматированием; Ан.Окс.тв.нхр – анодно-окисное твёрдое покрытие наполненное в растворе хроматов; М24.Н9.б.Х.б – трёхслойное покрытие: медь толщиной 24 мкм, блестящий никель толщиной 9 мкм, блестящий хром толщиной 0,5-1,0 мкм.

Материал деталей (что покрывать?) определяет их подготовку под покрытие. Так, например, стальные и медные детали нельзя активировать (декапировать) в одной ванне, подготовка алюминиевых деталей кардинально отличается от подготовки чёрных металлов, поэтому детали из алюминиевых сплавов, как правило, обрабатываются на отдельных специально предназначенных для этой цели линиях.

Габариты деталей определяют возможность обработки в барабанах, колоколах или на подвесках. Как было отмечено ранее, к мелким деталям, которые могут обрабатываться насыпью, относятся детали с максимальными размерами до 50-60 мм и узкие детали с длиной до 100-120 мм. Кроме габаритов необходимо учитывать и конфигурацию деталей: плохо покрываются в колоколах и барабанах детали, которые слипаются между собой (плоские), входят одна в другую (уголки, скобки и т.п.) или всплывают на поверхность (легкие полые детали). Тонкие пружины, которые при покрытии насыпью во вращающихся колоколах и барабанах могут скручиваться между собой, покрываются обычно на подвесках (мелкие пружины нанизывают на проволоку или надевают на специальные штыри). Если толстые пружины в процессе вращения не скручиваются между собой, их можно покрывать в барабанах, иногда при этом их нанизывают на проволоку. При защитном анодировании мелкие детали можно обрабатывать в плотно закрывающихся корзинах,

обеспечивающих надёжное контактирование. Детали, подвергающиеся химическим видам покрытий (фосфатирование, оксидирование и пр.), независимо от их размеров обрабатывают в большинстве случаев в корзинах или в специальных кассетах, подвески применяют только в том случае, если это вызвано конфигурацией деталей.

В зависимости от производственной программы в $м^2$/год ($м^2$/месяц) или объёма заказа выбирают оборудование и его количество в соответствии с его производительностью. Автоматические линии с жёстким циклом выбирать и проще и сложнее одновременно. Проще, так как в их технических характеристиках уже заложено выполнение конкретного технологического процесса со строго определенной производительностью, не требующей расчёта; сложнее, так как выбор линий по их производительности и набору операций достаточно узок и в очёнь редких случаях удаётся подобрать подходящую линию, чтобы коэффициент её использования (КПД) был максимальным. Автооператорные линии с гибким циклом, а также механизированные линии и линии из стационарных ванн в соответствии с операциями технологического процесса собирают из отдельных ванн, количество которых определяют расчётным путём, что и будет рассмотрено ниже.

Таким образом, характеристики деталей и условия их эксплуатации определяют перечень технологических операций, что является фактически компоновкой (набором и порядком расположения ванн) гальванической линии. Задача технологов производства состоит в том, чтобы выбрать на основе своих знаний и опыта наилучшие технологические растворы и электролиты и по их параметрам произвести расчёт производства, т.е. рассчитать необходимое для выполнения производственной программы количество единиц оборудования и рабочих, а также потребность в материальных и энергетических ресурсах. После этого составляется планировка цеха на выделенных площадях. Выбор технологического процесса и составов растворов и электролитов не является предметом рассмотрения данного материала, основное внимание будет уделено расчёту оборудования, потребности в материалах, электроэнергии, паре, сжатом воздухе, промывной воде, а также расчёту объёма и состава сточных вод.

### 6.1. Определение фондов рабочего времени и режима работы цеха

При расчёте производства прежде всего необходимо определиться

в режиме работы цеха металлопокрытий. Цеха и участки гальванопокрытий до недавнего времени в большинстве своём работали в две смены при пятидневной рабочей неделе с двумя выходными. Однако в сегодняшних условиях неполной занятости предприятий гальванические цеха работают, как правило, лишь в одну смену при пятидневной рабочей неделе. Если остановка оборудования по условиям производства нежелательна или недопустима (например, при покрытии проволоки и ленты на конвейерной установке или при применении очень длительного процесса), то работа в цехе может производиться непрерывно в течение 24 ч за сутки. В этом случае применяется четырёхсменный режим.

Различают:

– номинальный годовой фонд времени работы цеха;

– действительный годовой фонд времени работы оборудования;

– действительный годовой фонд времени работы рабочих.

*Номинальный годовой фонд времени работы цеха* устанавливается в зависимости от режима работы цеха. Продолжительность рабочей недели в одну смену с двумя выходными днями составляет 41 ч. С учётом сокращенного рабочего времени перед выходными (праздничными) днями номинальный годовой фонд времени работы цеха будет составлять при работе: в одну смену 2070 ч, в две смены 4140 ч, в три смены 6210 ч, круглосуточно (без выходных дней) 8760 ч.

*Действительный годовой фонд времени работы оборудования* меньше номинального годового фонда времени на величину потерь времени на неизбежные простои оборудования, вызванные его ремонтом и невыходом на работу рабочих по уважительным причинам.

Средние годовые потери времени в процентах от номинального фонда времени обычно составляют: для неавтоматизированного оборудования: 2 % при работе в одну смену, 3 % – в две смены и 4 % – в три смены; для автоматизированного оборудования 8 % при работе в две смены и 10 % при работе в три смены.

Таким образом, действительный годовой фонд времени работы оборудования, выраженный в часах, составит при работе: неавтоматизированного оборудования в 1 смену 2030 ч, в 2 смены 4015 ч, в 3 смены 5960 ч; автоматизированного оборудования в 2 смены – 3810 ч и в 3 смены – 5590 ч.

*Действительный годовой фонд времени работы рабочих* определяется в зависимости от характера работы и особых условий производ-

ства в соответствии с общими положениями об отпусках.

Кроме очередных отпусков, при расчёте действительного годового фонда времени работы рабочих нужно учесть также потери времени, неизбежные в каждом производстве (неявки по болезни, вследствие выполнения государственных обязанностей и пр.).

Таким образом, действительный годовой фонд времени работы рабочих для машиностроительных предприятий составляет при продолжительности отпуска 18 дней – 1840 ч, 24 дня – 1820 ч.

### 6.2. Требования к выбору технологического оборудования и расчёт его количества

При выборе оборудования необходимо учитывать следующие факторы:

– технологические параметры техпроцесса (продолжительность операций обработки, температурный режим работы растворов, токсичность выбросов в атмосферу);

– тип производства (серийность);

– технические характеристики оборудования (в первую очередь производительность);

– сложность изготовления, настройки, ремонта и обслуживания оборудования, а также его цену.

Производство по производительности условно делят на мелкосерийное (до 50 тыс. $м^2$/год), серийное (50–150 тыс. $м^2$/год), крупносерийное (150–300 тыс. $м^2$/год), массовое (свыше 300 тыс. $м^2$/год). Для мелкосерийного производства следует применять стационарные ванны и механизированные линии. Для серийного производства следует применять автоматы различных типов и механизированные линии. Для массового и крупносерийного производства с установившейся номенклатурой следует использовать автоматы с жёстким циклом. Автоматы и механизированные линии с программным управлением следует применять для производства с часто меняющимися номенклатурой и видами покрытий и на два-три покрытия (например, кадмирование и цинкование; цинкование и фосфатирование; меднение, никелирование и хромирование).

Так как в технических характеристиках автоматических линий с жёстким циклом уже заложено выполнение конкретного технологического процесса со строго определённой производительностью, не требующей расчёта, то рассмотрим расчёт автооператорных линий с гиб-

ким циклом, а также механизированных линий и линий, составленных из стационарных ванн.

При расчёте необходимого количества ванн обычно задаются их размерами. Размеры ванн принимают по нормалям, стандартам, имеющимся рабочим чертежам или другим нормативным материалам. Размеры ванн выбирают в зависимости от производственной программы, а при покрытии крупногабаритных деталей – с учётом их максимальных размеров.

Количество ванн каждого вида покрытий и других лимитирующих (по времени выдержки деталей в них) технологических операций определяют по формуле:

$$N = \frac{S \cdot (\tau_o + \tau_з)}{n \cdot f \cdot 60 \cdot T_o \cdot K_з}, \qquad (6.1)$$

где $N$ – количество ванн (округляется до целого числа в большую сторону); $S$ – годовая программа по рассчитываемому виду покрытия, м$^2$; $\tau_o$ – продолжительность процесса в ванне, мин; $\tau_з$ – продолжительность загрузки-выгрузки ванны, мин; $n$ – количество рядов катодных штанг в ванне при обработке деталей на подвесках, шт.; $f$ – единовременная загрузка ванны (табл. 6.1 и 6.2), м$^2$; $T_o$ – действительный годовой фонд времени работы оборудования, ч; $K_з$ – коэффициент загрузки линии или ванны. Средний коэффициент загрузки для автоматов, механизированных линий и ванн с ручным обслуживанием (стационарных ванн) следует принимать 0,8-0,9.

Продолжительность процесса ($\tau_o$, мин) электролитического осаждения металлов рассчитывают по формуле:

$$\tau_o = \frac{d \cdot \gamma \cdot 60}{i_к \cdot g \cdot BT}, \qquad (6.2)$$

где $d$ – толщина покрытия, мкм; $\gamma$ – удельный вес осаждаемого металла, г/см$^3$ ($\gamma_{Zn}$=7,13 г/см$^3$; $\gamma_{Cd}$=8,64 г/см$^3$; $\gamma_{Cu}$=8,93 г/см$^3$; $\gamma_{Ni}$=8,90 г/см$^3$; $\gamma_{Cr}$=7,19 г/см$^3$; $\gamma_{Sn}$=7,28 г/см$^3$); $i_к$ – плотность тока, А/дм$^2$; $g$ – электрохимический эквивалент осаждаемого металла, г/(А·ч) ($g_{Zn^{2+}\to Zn}$=*1,220 г/(А·ч);* $g_{Cd^{2+}\to Cd}$=*2,097 г/(А·ч);* $g_{Cu^{2+}\to Cu}$=*1,186 г/(А·ч);* $g_{Ni^{2+}\to Ni}$=*1,095 г/(А·ч);* $g_{Cr^{6+}\to Cr}$=*0,323 г/(А·ч);* $g_{Sn^{2+}\to Sn}$=*2,214 г/(А·ч);* $g_{Sn^{4+}\to Sn}$=*1,107 г/(А·ч)*); $BT$ – выход металла току, %; *60* – коэффициент перевода часов в минуты.

Расчёт продолжительности процесса нанесения покрытия в колоколах и барабанах производят по средней плотности тока. Вследствие недостаточно равномерного пересыпания деталей и частичного истирания покрытия в процессе вращения продолжительность процесса в барабанах и колоколах должна быть увеличена по сравнению с расчётной на 20-40 % для твёрдых металлов и на 40-60 % для мягких металлов.

Продолжительность анодирования и химических процессов (фосфатирования, оксидирования и пр.) принимают по данным технологического процесса. Продолжительность обезжиривания и травления либо принимают по данным техпроцесса, либо устанавливают опытным путём в зависимости от загрязнённости деталей. Продолжительность загрузки и выгрузки деталей из ванн можно принять равной 1 мин.

Для технологических операций малой продолжительности (около 1 мин), таких, как активирование, осветление, пассивирование и др., необходимое количество ванн принимается по 1 шт. для каждой операции.

Количество ванн промывки определяют, не исходя из их производительности, а в зависимости от величины критерия промывки (см. ниже), наличия производственной площади и необходимого объёма и состава сточных вод. Выбор схемы и режима промывки будет рассмотрен в гл. 9.

При расчёте количества единиц оборудования необходимо учитывать затраты времени в начале первой (после перерыва в работе цеха) смены на разогрев ванн, монтаж первой партии деталей на подвески и проведение предварительной (обезжиривание, активация, промывка) обработки первой партии деталей и заключительной (промывка, осветление, пассивация, сушка) обработки последней партии деталей перед следующим перерывом в работе цеха. Такое время в процентах от продолжительности работы цеха за сутки для стационарных ванн, колоколов и барабанов обычно составляет при работе в одну смену 6-10 %, в две смены 3-5 % и в три смены 2-4 %. Если по условиям производства между каждой сменой требуется остановка оборудования, то затраты времени во всех случаях будет одинаковыми и равными 6-10 % от продолжительности смены независимо от их количества за сутки. Эти затраты времени легко учесть при округлении в большую сторону результатов расчётов количества ванн.

Единовременную загрузку ванн определяют либо на основании размещения деталей на подвесках (при этом составляют специальную

загрузочную ведомость), либо по укрупнённым нормам. Загрузочные ведомости с размещением деталей на подвесках составляют только в отдельных случаях, когда это бывает вызвано особой конфигурацией деталей при небольшом количестве наименований или другими специфическими особенностями процесса. Например, загрузочную ведомость обычно составляют при твёрдом хромировании и при покрытии крупногабаритных деталей, таких, как бампер, детали корпуса и крыльев самолётов и пр.

В практике проектирования цехов гальванопокрытий при расчёте оборудования единовременную загрузку ванн принимают обычно по укрупнённым нормам, представленным в табл. 6.1 и 6.2:

$f = H \cdot \ell$ для подвесочных ванн

$f = H$ для барабанных и колокольных ванн,

где $H$ – норма загрузки ванн по табл. 6.1 и 6.2; $l$ – длина штанги, м.

Если для разных технологических операций (ванн) в одной линии получаются разные величины единовременной загрузки ($f$), например, для цианистого меднения $f_{Cu} = 0{,}65 \cdot l$, для никелирования $f_{Ni} = 0{,}55 \cdot l$ и для хромирования $f_{Cr} = 0{,}45 \cdot l$, то в качестве единовременной загрузки всей линии выбирают меньшую величину из значений единовременных загрузок каждой технологической ванны ($f_{линии} = f_{min} = f_{Cr} = 0{,}45 \cdot l$).

После определения количества ванн рассчитывают ритм $R_i$ работы по каждой $i$-й лимитирующей операции (мин/загрузку) по формуле:

$$R_i = \frac{\tau_o + \tau_з}{K_з \cdot N}, \qquad (6.3)$$

где $\tau_o$ – продолжительность процесса в ванне, мин; $\tau_з$ – продолжительность загрузки-выгрузки ванны, мин; $K_з$ – коэффициент загрузки линии или ванны; $N$ – количество ванн, шт.

Ритм работы всей линии (ритм выхода подвесок) будет равен максимальному значению из рассчитанных по формуле (6.3) величин ритма лимитирующих операций.

Исходя из ритма работы линии определяют производительность $F$ линии (м$^2$/ч):

$$F = \frac{60 \cdot f}{R_{max}}, \qquad (6.4)$$

где $f$ – единовременная загрузка ванны, м$^2$; $R_{max}$ – максимальный ритм

работы лимитирующих операций, мин/загрузку.

Если в процессе обработки деталей может появиться брак, то производительность линии по нанесению годных покрытий FПК будет меньше производительности ванн на величину передела брака ($м^2$/ч годных покрытий):

$$F_{пк} = F \cdot (1 - 0{,}01 \cdot \alpha), \qquad (6.5)$$

где $\alpha$ – величина брака продукции, % .

После этого определяют годовую производительность $S$ линии ($м^2$/год):

$$S = F_{пк} \cdot T_o \qquad (6.6)$$

Таблица 6.1

Укрупнённые нормы загрузки ванн при обработке деталей на подвесках

| Норма загрузки ванн, $м^2$/погонный метр штанги | | | |
|---|---|---|---|
| Вид покрытия | Глубина ванны, м | | |
| | 0,6 | 0,8 | 1,0 |
| Щелочные и цианистые электролиты: | | | |
| Цинкование и кадмирование мелких деталей | 0,5 | 0,6-0,7 | 0,7-0,8 |
| средний деталей | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| крупных деталей | 0,4 | 0,5 | 0,7 |
| Меднение | 0,5 | 0,6-0,7 | 0,7-0,8 |
| Серебрение | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| Оловянирование | 0,5 | 0,7 | 0,8 |
| Кислые электролиты: | | | |
| Никелирование, меднение | 0,3-0,4 | 0,5-0,6 | 0,6-0,7 |
| Цинкование и кадмирование (в том числе аммиакатные), оловянирование | 0,4-0,6 | 0,5-0,7 | 0,6-0,8 |
| Хромирование декоративное | – | 0,4-0,5 | 0,4-0,5 |
| износостойкое | – | 0,2-0,3 | 0,2-0,3 |
| Анодирование | – | 1,5 | 1,5-1,8 |
| электроизоляционное и твёрдое | – | – | 0,2-0,3 |
| Электрополирование | – | 0,2-0,3 | – |
| Нанесение сплавов меди, олова и никеля | – | 0,5-0,7 | 0,6-0,8 |
| Химическая обработка: | | | |
| Фосфатирование стали | – | – | 1,2-1,5 |
| Оксидное и оксидно-фосфатное покрытие алюминия | – | – | 1,2-1,5 |
| Оксидирование стали, меди насыпью | – | – | 8,0-10,0 |
| Оксидирование магниевого литья | – | – | 0,6-0,8 |

Таблица 6.2

Укрупнённые нормы загрузки ванн при обработке деталей насыпью*

| Норма загрузки ванн, $м^2$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Вид покрытия | Объём барабана, колокола, л | | | | |
| | 2,5 | 10 | 20 | 50 | 80 |
| Цинкование, кадмирование, меднение, оловянирование и серебрение в щелочных и цианистых электролитах | | | | | |
| в колоколах | 0,2 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2 |
| в барабанах | – | 1 | 1,5 | 3 | 4 |
| Никелирование, меднение, цинкование, кадмирование и оловянирование в кислых электролитах | | | | | |
| в колоколах | – | – | 1 | 1,5 | – |
| в барабанах | – | – | 1,5 | 3 | 4 |

Примечание: * При химических покрытиях насыпью в корзинах норма загрузки ванн составляет 10-12 $м^2$ (или ориентировочно 100-120 кг) на 1 $м^3$ раствора.

Если полученная годовая производительность линии меньше заданной годовой программы, то увеличивают на одну количество ванн у той операции, у которой наибольший ритм работы ($R_i$). Затем выбирают новое значение ритма работы линии ($R_{max}$) и по формулам 6.4 и 6.5 рассчитывают новую производительность линии. Если и в этом случае рассчитанная годовая производительность линии будет меньше годовой программы, то повторяют все выше перечисленные действия до тех пор, пока рассчитанная годовая производительность линии не будет превышать заданную годовую программу.

Рассмотрим ***пример расчёта*** линии, составленной из стационарных ванн.

*Дано*: годовая программа 30000 $м^2$ цинкования стальных деталей II группы сложности профиля; режим работы гальванического цеха двухсменный; средняя толщина покрытия 9 мкм с хроматной пассивацией; максимальные габариты деталей 800х200х500 мм (обработка деталей на подвесках). Состояние поверхности деталей после механической обработки не требует предварительного химического обезжиривания и травления. Допустимое количество бракованных покрытий составляет 2%. Удельный вес цинка 7,13 $г/см^3$, электрохимический эквивалент цинка ($Zn^{2+} \rightarrow Zn$) 1,22 г/(А·ч).

1) Составляем последовательность технологических операций:

монтаж деталей – электрохимическое обезжиривание – тёплая промывка – хо-

лодная промывка – активирование – холодная промывка – цинкование – холодная промывка – осветление – холодная промывка – пассивация – холодная промывка – тёплая промывка – сушка – демонтаж деталей.

2) Выбираем составы растворов и соответствующие технологические режимы:

*электрохимическое обезжиривание* – состав электролита (г/л): NaOH 15-35; $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ 15-35; $Na_2CO_3$ 15-35; синтамид-5 2-3; рабочий режим: температура 50-70°С, анодная плотность тока 1-3 А/дм$^2$, время обработки 5-10 мин;

*активирование стали* – состав раствора: HCl[*] 50-100 г/л; время обработки 0,15-1,0 мин;

*цинкование* – состав электролита (г/л): $ZnCl_2$ 60-120; KCl 180-220; $H_3BO_3$ 15-25; добавка ЦКН-3 35-50 мл/л; рабочий режим: катодная плотность тока 1-3 А/дм$^2$ (оптимальная 2 А/дм$^2$), температура раствора 18-25 °С, pH 4,5-5,5, скорость осаждения до 40 мкм/ч (оптимальная 25 мкм/ч), выход по току 90-95 %;

*осветление цинкового покрытия* – состав раствора: $HNO_3$[**] 10-30 г/л; время обработки 0,08-0,25 мин;

*хроматирование цинкового покрытия* – состав раствора (г/л): $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$ 100-150; $H_2SO_4$ 8-10; время обработки 0,1-0,3 мин.

3) Рассчитываем продолжительность цинкования по формуле (6.2):

$$\tau_o = \frac{d\gamma 60}{i_к g BT} = \frac{9 \cdot 7{,}13 \cdot 60}{2 \cdot 1{,}22 \cdot 93} = 17 \text{ мин.}$$

Продолжительность остальных технологических операций (мин) в соответствии с выбранной технологией принимаем максимальной: электрохимического обезжиривания – 10, активирования – 1, осветления – 0,25, пассивации – 0,3, промывки – 1, сушки – 5, монтажа и демонтажа деталей – 1.

4) Рассчитываем внутренние размеры ванн (см. рис.1.1 и 2.2) и выбираем тип ванн.

Длина ванны включает в себя расстояние от деталей до стенок ванны (100 мм), расстояние между деталями (30 мм) и максимальную длину деталей (800 мм): при завешивании одной детали длина ванны составляет 100+800+100=1000 (мм), при завешивании двух деталей длина ванны составляет 100+800+30+800+100=1830 (мм).

Глубина ванны включает в себя расстояние от деталей до дна ванны (200 мм), расстояние от деталей до зеркала раствора (50 мм) и максимальную высоту деталей (500 мм): при завешивании одной детали глубина ванны составляет 50+500+200=750 (мм), при завешивании двух деталей глубина ванны составляет 50+500+30+500+200=1280 (мм).

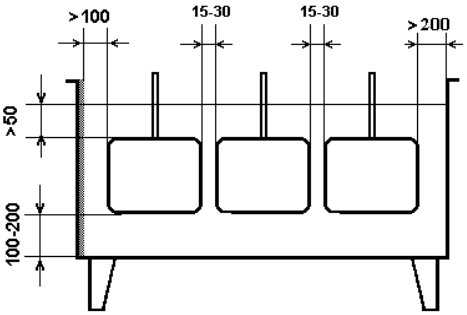
---

[*] кислота соляная техническая плотностью 1,19 г/см$^3$

[**] кислота азотная техническая плотностью 1,41 г/см$^3$

Ширина ванны включает в себя расстояние от деталей до электродов с двух сторон (2х250 мм) и максимальную ширину деталей (200 мм): 2х250+200=700 (мм). По ОСТ 2.П65-1-80 (см. табл.) для рассматриваемой линии выбираем тип ванны 03 с внутренними размерами 1250х710х800 мм.

| Тип ванны | Внутренние размеры ванн, мм | | |
|---|---|---|---|
| | длина | ширина | глубина |
| 01 | 630 | 560 | 800 |
| 02 | 800 | 710 | 800 |
| 03 | 1250 | 710 | 800 |
| 04 | 1600 | 710 | 800 |
| 05 | 800 | 710 | 1000 |
| 06 | 1250 | 710 | 1000 |
| 07 | 1600 | 710 | 1000 |
| 08 | 1600 | 1000 | 1000 |
| 09 | 2500 | 710 | 1000 |
| 10 | 2500 | 1000 | 1000 |
| 11 | 4000 | 710 | 800 |




5) Рассчитываем необходимое количество ванн по формуле (6.1).

Лимитирующими операциями в нашем случае являются цинкование и электрохимическое обезжиривание, поэтому расчёт количества ванн проводим только для этих операций, количество остальных ванн принимаем по одной для каждой операции.

Единовременную загрузку $f$ для всех ванн принимаем равной единовременной загрузке лимитирующей операции, т.е. самой продолжительной, каковой является цинкование. Из табл. 6.1 определяем единовременную загрузку ванны аммиакатного цинкования, у которой глубина 0,8 м, а длина катодной штанги 1,25 м: 0,7×1,25=0,88 м$^2$.

Действительный годовой фонд времени работы неавтоматизированного оборудования $T_o$ при двухсменной работе составляет 4015 ч. Коэффициент загрузки $K_з$ ванн принимаем 0,8.

Подставляем принятые значения в формулу (6.1) и определяем количество ванн обезжиривания и цинкования:

$$N_{обезж.} = \frac{S \cdot (\tau_o + \tau_з)}{n \cdot f \cdot 60 \cdot T_o \cdot K_з} = \frac{30000 \cdot (10+1)}{1 \cdot 0{,}88 \cdot 60 \cdot 4015 \cdot 0{,}8} = 1{,}95$$ принимаем $N_{обез.}$=2 шт.

$$N_{цинк.} = \frac{S \cdot (\tau_o + \tau_з)}{n \cdot f \cdot 60 \cdot T_o \cdot K_з} = \frac{30000 \cdot (17+1)}{1 \cdot 0{,}88 \cdot 60 \cdot 4015 \cdot 0{,}8} = 3{,}18$$ принимаем $N_{цинк.}$= 4 шт.

Для всех остальных технологических операций в виду малой продолжительности обработки (менее 1 мин) принимаем необходимое количество ванн по 1 шт. Для операций промывки предварительно, до выбора оптимальной системы промывки, также принимаем количество ванн по 1 шт.

6) Рассчитываем производительность линии.

Ритм работы по операции электрохимического обезжиривания рассчитываем по формуле (6.3):

$$R_{обезж.} = \frac{\tau_о + \tau_з}{K_з \cdot N} = \frac{10 + 1}{0{,}8 \cdot 2} = 6{,}88 \text{ мин}$$

Ритм работы по операции цинкования рассчитываем аналогично:

$$R_{цинк.} = \frac{\tau_о + \tau_з}{K_з \cdot N} = \frac{17 + 1}{0{,}8 \cdot 4} = 5{,}63 \text{ мин}$$

Ритм работы линии цинкования равен ритму работы по операции электрохимического обезжиривания как максимальному (при этом ванны цинкования будут недогруженными, в противном случае для обеспечения максимальной производительности 4-х ванн цинкования необходимо добавить ещё одну ванну электрохимического обезжиривания, что для выполнения заданной годовой программы явно избыточно):

$$R_{линии} = R_{обезж.} = 6{,}88 \text{ мин}$$

Производительность линии рассчитываем по формуле (6.4):

$$F = \frac{60 \cdot f}{R_{линии}} = \frac{60 \cdot 0{,}88}{6{,}88} = 7{,}67 \text{ м}^2 / \text{ч}$$

С учётом заданной возможной величины брака 2 % производительность линии цинкования по нанесению годных покрытий будет меньше производительности ванн цинкования на величину брака:

$F_{пк} = F \cdot (1 - 0{,}01\alpha) = 7{,}67 \cdot (1 - 0{,}01 \cdot 2) = 7{,}5 \text{ м}^2 / \text{ч}$ годных покрытий.

Проверяем годовую производительность по формуле (6.6):

$S = 7{,}5 \cdot 4015 = 30112 \text{ м}^2/\text{год}.$

Таким образом, 4 ванны цинкования обеспечат выполнение заданной годовой программы 30000 м$^2$.

7) Составляем компоновку линии в соответствии с технологическим процессом:

| обезж | обезж | теп. пр. | хол. пр. | акт. | хол. пр. | цинк. | цинк. | цинк. | цинк. | хол. пр. | осв. | хол. пр. | пас. | хол. пр. | теп. пр. | сушка |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

Данная компоновка линии цинкования не является окончательной, так как количество ванн промывки не определяется соотношением продолжительности промывки и производительности линии, а зависит от требуемого качества промывки, принятой схемы промывки и технических условий очистки сточных вод. Поэтому по составленной компоновке линии рассчитывают потребность в электроэнергии, паре, химикатах и материалах, а объём водопотребления рас-

считывают после выбора оптимальной схемы промывки и уточнения компоновки линии.

### 6.3. Расчёт источников постоянного тока

Расчёт источников постоянного тока производят на основании силы тока, потребляемой ваннами, с учётом требуемого напряжения.

Величину силы тока, подводимого к одной ванне, рассчитывают по величине единовременной загрузки ванны и плотности тока. Однако, при выборе источника постоянного тока для питания ванн ориентируются на величину силы тока, превышающей расчётную на 15-20%:

$$I=i\cdot f\cdot(1{,}15\div1{,}20). \qquad (6.5)$$

Это необходимо потому, что подвески имеют неизолированные контакты, увеличивающие общую покрываемую поверхность, а также потому, что при расчёте оборудования по укрупнённым нормам отдельные загрузки на подвеску или в ванну могут быть несколько выше средних расчётных. Для этого и необходим некоторый (15-20 %-й) запас.

Помимо силы тока при выборе источников постоянного тока для питания гальванических ванн необходимо знать напряжение, которое он должен подавать на ванну. Для этого надо составить полное уравнение баланса напряжения:

$$U = E_a - E_к + \Delta U_{эл\text{-}т} + \Delta U_{провод.} + \Delta U_{конт.} \qquad (6.6)$$

где $U$ – необходимое выходное напряжение выпрямителя; $E_a$ и $E_к$ – анодный и катодный потенциалы; $\Delta U_{эл\text{-}т}$ – падение напряжения на преодоление омического сопротивления электролита; $\Delta U_{провод.}$ – падение напряжения в штангах, шинах, подвесках, деталях, анодах; $\Delta U_{конт.}$ – падение напряжения в контактах.

Величины анодного и катодного потенциалов $E_a$ и $E_к$ определяют экспериментально или из расчёта равновесных потенциалов ($E^p_a$ и $E^p_к$) и значений анодного и катодного перенапряжений ($\eta_a$ и $\eta_к$) при данной плотности тока:

$$E_a - E_к = (E^p_a - E^p_к) + \eta_a - \eta_к \qquad (6.7)$$

Для электродных процессов, в которых анодная и катодная реакции взаимно противоположны, разность равновесных потенциалов равна нулю. К таким процессам можно отнести нанесение электрохимических покрытий с использованием растворимых анодов. Расчёты равновесных потенциалов и перенапряжений имеют ряд погрешностей, свя-

занных с применимостью уравнения Тафеля, нестабильностью потенциалов в реальных условиях, протеканием побочных электродных реакций и адсорбционных процессов и другими причинами.

Падение напряжения на преодоление омического сопротивления электролита ($\Delta U_{эл\text{-}т}$, В) рассчитывают через катодную плотность тока ($i_к$, А/м$^2$) (или среднюю плотность тока, если катодная и анодная плотности различны), расстояние между анодом и катодом ($\ell$, м) и удельную электропроводность электролита ($\chi$, См/м) с учётом коэффициента газонаполнения ($\kappa_г$):

$$\Delta U_{эл-т} = \frac{i_к \ell \kappa_г}{\chi} = \frac{\sqrt{i_к i_a}\ \ell \kappa_г}{\chi} \qquad (6.8)$$

В ряде случаев газонаполнением пренебрегают. Ориентировочно можно принимать $\kappa_г \approx 1$, если парциальная плотность тока выделения газа не превышает 5 А/дм$^2$. Удельные электропроводности некоторых электролитов представлены в табл. 6.3.

Падение напряжения в проводниках первого рода ($\Delta U_{провод.}$, В) (в штангах, шинах, подвесках, деталях, анодах) из-за низкого удельного электросопротивления ($\rho$, Ом·м) металлов, как правило, мало и его рассчитывают по формуле:

$$\Delta U_{эл-т} = i \rho \ \ell \qquad (6.9)$$

Наибольшее падение напряжения происходит в насыпных электродах (барабанах, колоколах, корзинах-качалках, сетках), однако удовлетворительному расчёту оно не поддаётся из-за неопределённости величины переходного электросопротивления в многочисленных точках контакта как между деталями, так и между токоподводом и деталями.

Падение напряжения в контактах $\Delta U_{конт.}$ зависит от многих факторов – от конструкции и материала проводников, типа контакта (разъёмный или неразъёмный, точечный или плоскостной), давления между контактными поверхностями, состояния контактов и квалификации обслуживающего персонала. Поэтому расчёт связан с рядом трудностей и ненадёжен особенно вследствие загрязнений и коррозии, которые приводят к возрастанию падения напряжения в контактах до 50% от общего напряжения на ванне, а иногда приводят к полному прекращению процесса. При условии чистых и надёжно закреплённых контактов принимают $\Delta U_{конт.} = 5 \div 10$ % от общего напряжения на ванне.

Таблица 6.3

Удельные электропроводности некоторых электролитов

| Наименование операции и тип электролита | Удельная электропроводность, $\chi$, См/м |
|---|---|
| Цинкование: | |
| кислый | 10 |
| аммонийный | 11 |
| цинкатный | 30 |
| цианистый | 20 |
| Кадмирование: | |
| кислый | 8 |
| цианистый | 15 |
| Меднение: | |
| кислый | 50 |
| цианистый | 15 |
| Никелирование: сернокислый | 40 |
| Хромирование: сернокислый | 60 |
| Оловянирование: | |
| кислый | 20 |
| щелочной | 18 |
| Серебрение: | |
| роданисто-синеродистый | 17 |
| цианистый | 5 |
| Золочение: цианистый | 6 |

Таким образом, точно рассчитать полный баланс напряжений затруднительно. В тоже время номенклатура выпрямителей включает лишь несколько номиналов напряжений (6, 12, 18, 24, 48, 115 В), что делает расчёт баланса напряжений излишним. При проектировании цеха напряжение, которое необходимо подвести к ванне, обычно принимают по практическим данным. Выпрямители выбирают по номинальному значению выпрямленного напряжения, рекомендованному для проведения различных электрохимических процессов, которое представлено в табл. 6.4.

При выборе типов выпрямителей следует исходить из индивидуального питания каждой ванны, т.е. на каждую ванну желательно установить отдельный выпрямитель. Один выпрямитель на две-три ванны устанавливают очень редко, только при небольшой силе тока и для ванн с одинаковыми процессами. С другой стороны, чем больше количество выпрямителей, тем больше общая стоимость оборудования и занимаемая им площадь, но и в тоже время достигается бóльшая надёжность

выполнения программы и поддержания рабочей силы тока.

Таблица 6.4

Рекомендуемое номинальное напряжение выпрямителя для электрохимических процессов

| Электрохимические процессы | Номинальное напряжение, В |
|---|---|
| На подвесках: | |
| Цинкование, кадмирование, оловянирование, свинцевание, меднение цианистое; никелирование и меднение кислые без перемешивания и без нагрева | 6 |
| Электрохимическое обезжиривание, хромирование декоративное и твёрдое, снятие покрытий (меди, никеля, хрома), никелирование и меднение кислые с перемешиванием и с нагревом | 9; 12 |
| Анодирование в серной кислоте | 12; 18; 24 |
| Электрополирование стали, медных сплавов и алюминия в кислом растворе | 18; 24 |
| Электрополирование алюминия в щелочном растворе | 12; 18; 24 |
| Для всех видов покрытий в колоколах и в барабанах | 12; 18; 24 |

Рассмотрим ***пример расчёта*** источников постоянного тока для рассчитанной в §6.2 линии цинкования.

Сначала определим величину силы тока, подводимого к одной ванне электрохимического обезжиривания, при плотности тока 200 А/м$^2$ и единовременной загрузке 0,88 м$^2$ с 20 %-м запасом:

$$I=i_к \cdot f \cdot 1{,}20 = 200 \cdot 0{,}88 \cdot 1{,}2 = 211\ (А).$$

Процесс электрохимического обезжиривания не чувствителен к точности поддержания плотности тока, т.е. колебания плотности тока в одной ванне при включении или выключении тока в другой ванне не приводят к ухудшению обработки деталей. Поэтому по величинам силы тока и номинального напряжения 9 В (табл. 6.4) для 2-х ванн электрохимического обезжиривания выбираем один выпрямитель ТВ1-800/12Т-ОУХЛ4.

Теперь определим величину силы тока, подводимого к одной ванне цинкования, при плотности тока 200 А/м$^2$ и единовременной загрузке 0,88 м$^2$:

$$I=i_к \cdot f \cdot 1{,}20 = 200 \cdot 0{,}88 \cdot 1{,}2 = 211\ (А)$$

По чувствительности к колебаниям плотности тока операция цинкования занимает промежуточное положение между никелированием и электрохимическим обезжириванием. Поэтому применение четырёх выпрямителей (по одному на ванну) излишне как с точки зрения финансовых затрат и производственной площади, так и с точки зрения надёжности проведения процесса. Следовательно, по величинам силы тока и номинального напряжения 6 В (табл. 6.4) для пи-

тания электрическим током 4-х ванн цинкования достаточно выбрать два выпрямителя ТВ1-800/12Т-ОУХЛ4 – по одному выпрямителю на две ванны.

### 6.4. Расчёт расхода пара и сжатого воздуха

Расход пара определяют из расчёта потребного количества теплоты, необходимого для разогрева ванн до нужной температуры и теплоты для поддержания рабочей температуры ванн с учётом тепла, которое выделяется при прохождении через ванну электрического тока, т.е. джоулева тепла.

Расчёт количества теплоты, которое следует подводить каждый час к ванне на её разогрев (при наличии или отсутствии принудительной вентиляции), можно проводить по ранее представленным упрощённым формулам (1.1, 1.2, 1.5 и 1.6).

Можно пользоваться примерными средними данными – показателями расхода пара в кг/ч для ванн ёмкостью 100 л без наружной теплоизоляции, приведёнными в табл. 6.5.

Таблица 6.5

Примерные показатели часового расхода пара
на ванны ёмкостью 100 л при давлении пара 3 атм

| Температура разогрева, °С | Расход пара, кг/ч | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | для растворов при нагревании посредством | | | | для промывной воды при нагревании змеевиком | | |
| | змеевика | | пароводяной рубашки | | на разогрев | на поддержание температуры | |
| | на разогрев | на поддержание температуры | на разогрев | на поддержание температуры | | 1 раз в 2 ч | 1 раз в 3 ч |
| 30 | 4,3 | 0,27 | 10,0 | 0,86 | – | – | – |
| 35 | 5,3 | 0,37 | 11,1 | 0,92 | – | – | – |
| 40 | 6,4 | 0,49 | 12,2 | 0,98 | – | – | – |
| 45 | 7,4 | 0,62 | 13,3 | 1,07 | – | – | – |
| 50 | 8,5 | 0,78 | 14,4 | 1,18 | 8,5 | 4,64 | 3,36 |
| 55 | 9,6 | 0,97 | 15,5 | 1,32 | – | – | – |
| 60 | 10,7 | 1,18 | 16,6 | 1,49 | 10,7 | 6,0 | 4,39 |
| 70 | 13,5 | 1,72 | – | – | 13,5 | 7,5 | 5,56 |
| 80 | 15,8 | 2,44 | – | – | 15,8 | 9,2 | 6,95 |
| 90 | 18,1 | 3,44 | – | – | 18,1 | 11,15 | 8,6 |
| 100 | 20,9 | 4,78 | – | – | – | – | – |

Эти показатели получены путём вычисления количества тепла, необходимого на разогрев ванны за 1 ч и на поддержание её температуры при установившемся режиме процесса. Для ванн ёмкостью более 100 л данные, приведённые в табл. 6.5, нужно соответственно увеличить.

При расчёте годовой потребности пара следует количество пара, требуемое на разогрев раствора, умножить на количество рабочих дней в году (251 день) и прибавить к нему требуемое для поддержания необходимой температуры раствора количество пара, умноженное на действительный годовой фонд работы оборудования $T_o$.

Для электрохимических ванн при их работе расход пара уменьшают на величину $Q_{Дж}$ (кг), пропорциональную джоулевой теплоте, выделяемой при прохождении через раствор электрического тока, и рассчитываемую по упрощённой формуле:

$$Q_{Дж} = \frac{I \cdot \Delta U_{эл-т} \cdot \tau}{573}\ , \qquad (6.10)$$

где $I$ – сила тока, подаваемого на ванну, А; $\Delta U_{эл-т}$ – падение напряжения на преодоление омического сопротивления электролита, В; $\tau$ – время прохождения тока, ч.

Силу тока (А), рассчитывают по формуле 6.5.

Падение напряжения на преодоление омического сопротивления электролита рассчитывают по формуле 6.8 с учётом величин удельной электропроводности электролитов, представленных в таблице 6.3.

Время прохождения тока (ч) через раствор электрохимических ванн определяют по формуле:

$$\tau = \frac{\tau_o \cdot T_o}{R_{линии}}$$

где $\tau_o$ – продолжительность технологической операции, мин; $R_{линии}$ – ритм работы линии, мин; $T_o$ – действительный годовой фонд работы оборудования, ч.

Подставив найденные значения $I$, $U$ и $\tau$, рассчитывают годовой расход пара (кг/год), пропорциональный джоулевой теплоте, выделяемой при прохождении через раствор электрического тока:

$$Q_{Дж} = \frac{I \cdot \Delta U_{эл-т} \cdot \tau}{573} = \frac{i \cdot f \cdot 1{,}2 \cdot i \cdot \ell \cdot к_г \cdot \tau_o \cdot T_o}{\chi \cdot R_{линии} \cdot 573} \qquad (6.11)$$

Если полученное значение $Q_{Дж}$ больше величины годового расхода пара на поддержание температуры ванны, то раствор ванны необходимо

охлаждать, а годовая потребность в паре соответствует годовому количеству пара, необходимого для разогрева раствора.

Формула 6.11 не учитывает количество тепла, выделяемого (при прохождении тока) за счёт протекающих реакций и за счёт преодоления сопротивления анодов, подвесочных приспособлений, деталей и контактов между ними. Но, как уже было отмечено ранее (§1.4), цеховому инженеру проще и выгоднее рассчитать нагреватель только по главнейшим статьям расхода теплоты, но с небольшим запасом, и в случае надобности прикрыть паровой вентиль или выключить ток.

Рассмотрим ***пример расчёта*** расхода пара давлением 3 атм для рассчитанной в § 6.2 линии цинкования.

Для разогрева 2-х ванн электрохимического обезжиривания объёмом по 530 л с помощью змеевика до температуры 70°С за 1 час требуется (по табл. 6.5)

*13,5 · 5,3 · 2 = 143,1 кг* пара.

Для разогрева 2-х ванн тёплой промывки объёмом по 530 л с помощью змеевика до температуры 60 °С за 1 час требуется (по табл. 6.5)

*10,7 · 5,3 · 2 = 113,4 кг* пара.

Таким образом, в течение года на разогрев

2-х ванн электрохимического обезжиривания требуется:

*143,1 · 251(день) = 35918,1 кг/год* пара,

2-х ванн тёплой промывки требуется:

*113,4 · 251(день) = 28463,4 кг/год* пара.

Для поддержания рабочей температуры раствора (70 °С) в 2-х ваннах электрохимического обезжиривания объёмом по 530 л с помощью змеевика за 1 час требуется (по табл. 6.5)

*1,72 · 5,3 · 2 = 18,2 кг/час* пара.

Для поддержания рабочей температуры воды (60°С) в 2-х ваннах тёплой промывки объёмом по 530 л с помощью змеевика один раз в 2 часа требуется (по табл. 6.5)

*6,0 · 5,3 · 2 = 63,6 кг/час* пара.

Таким образом, в течение года на поддержание рабочей температуры требуется:

в 2-х ваннах электрохимического обезжиривания

*18,2 · 4015 (ч) = 73073,0 кг/год* пара,

в 2-х ваннах тёплой промывки

*63,6 · 4015 (ч) = 255354,0 кг/год* пара.

Для 2-х ванн электрохимического обезжиривания годовой расход пара уменьшается на количество пара, эквивалентное джоулевой теплоте:

$$Q_{Дж} = \frac{i \cdot f \cdot 1{,}2 \cdot i \cdot \ell \cdot \kappa_г \cdot \tau_о \cdot T_о}{\chi \cdot R_{линии} \cdot 573} = \frac{200 \cdot 0{,}88 \cdot 1{,}2 \cdot 200 \cdot 0{,}25 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 4015}{30 \cdot 6{,}88 \cdot 573} = 3585\,(кг/год)$$

что меньше количества пара, требуемого для поддержания температуры в ваннах электрохимического обезжиривания.

Следовательно, годовая потребность пара для линии цинкования составляет:

$$35918{,}1 + 28463{,}4 + 73073{,}0 + 255354{,}0 - 3585{,}0 = 389223{,}5 \ \ (кг/год)$$

Расход сжатого воздуха на барботаж определяют, исходя из нормы расхода 0,2÷0,3 л/мин на 1 л раствора, по формуле:

$$V_{возд.} = (0{,}2 \div 0{,}3) \cdot V_{ванны} \cdot 60, \qquad (6.12)$$

где $V_{возд.}$ – расход воздуха, л/ч; $V_{ванны}$ – объём ванны, л; $60$ – коэффициент перевода л/мин в л/ч.

Расход сжатого воздуха на обдув деталей для их сушки составляет приблизительно 10-20 м$^3$/ч при диаметре сопла 3 мм и давлении 2-3 атм.

### 6.5. Расчёт расхода анодов и химикатов

**Расход анодов**. Для всех электрохимических процессов покрытия (за исключением процессов хромирования, анодирования и некоторых процессов нанесения покрытий из драгметаллов) применяют растворимые аноды.

Расход растворимых анодов определяется полезным расходом металла, идущего на покрытие деталей с учётом брака, технологически неизбежными потерями и технологическими отходами:

$$M_a = S \cdot d \cdot \gamma (1 + 0{,}01 \cdot \alpha) + \Delta M_п + \Delta M_о\,, \qquad (6.13)$$

где $M_a$ – расход растворимых анодов, г; $S$ – покрываемая поверхность (годовая программа), м$^2$; $d$ – толщина покрытия, мкм; $\gamma$ – удельный вес анодного материала, г/см$^3$; $\alpha$ – величина брака, %; $\Delta M_п$ – технологически неизбежные потери металла (кроме серебра и золота) из-за покрытия неизолированных частей подвесок или катодных контактов в колоколах и барабанах, шламообразования анодов и угара при переплавке, г; $\Delta M_о$ – технологические отходы, образующиеся в виде неиспользуемых остатков анодов и в виде стружки при сверления отверстий, г.

Технологически неизбежные потери и технологические отходы в сумме составляют ~ 6 % от полезного расхода металла, поэтому расход растворимых анодов составляет:

$$M_a = S \cdot d \cdot \gamma (1 + 0{,}01 \cdot \alpha) \cdot 1{,}06$$

При первичном запуске оборудования потребность (годовую) в

анодах необходимо увеличить на величину единовременной загрузки анодов (неснижаемый остаток), рассчитываемую по формуле:

$$M_{aI} = f \cdot K_Э \cdot N \cdot d \cdot \gamma \cdot 1{,}15 \qquad (6.14)$$

где $M_{aI}$ – расход анодов на первичный запуск ванны, кг; $f$ – единовременная загрузка ванны, м$^2$; $K_Э$ – отношение катодной плотности тока к анодной; $N$ – количество ванн; $d$ – толщина анодов, мм (обычно для растворимых анодов $d$=*10 мм*); $\gamma$ – удельный вес анодного материала, г/см$^3$; *1,15* – коэффициент, учитывающий верхнюю часть анодов, находящуюся над уровнем электролита (~ 15 % от всей высоты анода).

Расход нерастворимых противоэлектродов определяется их химическим и механическим разрушением в процессе работы, вследствие чего их приходится заменять. Аноды свинцовые при хромировании рекомендуется менять 2 раза в год, аноды (катоды) стальные при электрохимическом обезжиривании и катоды при электрополировании – 1 раз в год, катоды при анодировании алюминия – 1 раз в 2 года при непрерывной работе цеха.

Расход нерастворимых противоэлектродов рассчитывают по формуле:

$$M_a = f \cdot K_Э \cdot N \cdot K_{см} \cdot d \cdot \gamma \cdot 1{,}15 \text{ (кг/год)} \qquad (6.15)$$

где $K_{см}$ – сменяемость противоэлектродов, раз в год.

Рассмотрим ***пример расчёта*** расхода анодов для рассчитанной в § 6.2 линии цинкования.

Расход цинковых анодов составляет:

– на работу (по формуле 6.13):

$$M_a = S \cdot d \cdot \gamma (1+0{,}01 \cdot \alpha) + \Delta M_п + \Delta M_о = 30000 \cdot 9 \cdot 7{,}13 \cdot 1{,}02 \cdot 1{,}06 = 2081418{,}1 \text{ г/год}$$

или *2081,4 кг/год*

– на единовременную загрузку 4-х ванн (отношение анодной площади поверхности к катодной 1:1=1, толщина цинковых анодов 10 мм, плотность цинка 7,13 г/см$^3$):

$$M_{aI} = f \cdot i_к : i_a \cdot N \cdot d \cdot \gamma \cdot 1{,}15 = 0{,}88 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 10 \cdot 7{,}13 \cdot 1{,}15 = 288{,}622 \approx 289 \text{ (кг)}.$$

Расход стальных электродов при электрохимическом обезжиривании в 2-х ваннах составляет (отношение анодной площади поверхности к катодной 1:1=1, толщина стального листа 2 мм, плотность стали ~7,86 г/см$^3$, смена электродов 1 раз в год):

$$M_a = f \cdot i_к : i_a \cdot N \cdot K_{см} \cdot d \cdot \gamma \cdot 1{,}15 = 0{,}88 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 7{,}86 \cdot 1{,}15 = 31{,}817 \approx 32 \text{ (кг/год)}$$

**Расход химикатов**. Расход химикатов (компонентов технологических растворов) обусловлен их полезным расходом на образование по-

крытия, технологически неизбежными потерями, сменой отработанных растворов и приготовлением растворов при первичном запуске оборудования:

$$M_X = P_{Пк} + П + P_{см} + P_{зап} \qquad (6.16)$$

где $M_X$ – годовой расход химикатов, г; $P_{Пк}$ – полезный расход химикатов на образование покрытия, г; $П$ – технологически неизбежные потери химикатов, г; $P_{см}$ – расход химикатов при замене отработанного раствора, г; $P_{зап}$ – расход химикатов на приготовление растворов при первичном запуске оборудования, г.

Полезный расход химикатов на образование покрытия характерен для электрохимических процессов нанесения покрытий с нерастворимыми анодами и химических процессов осаждения покрытий. Полезный расход химиката пропорционален количеству активного элемента химиката, который создаёт покрытие.

Для химических процессов нанесения покрытий и обработки поверхности деталей, а также электрохимических процессов обработки поверхности деталей полезный расход химикатов учтён в нормативах технологически неизбежных потерь растворов (табл. 6.6).

Технологически неизбежные потери включают в себя:

- уменьшение содержания компонентов за счёт химического взаимодействия с материалом деталей, продуктами коррозии и жировыми загрязнениями,
- унос растворов деталями и приспособлениями при выгрузке их из ванн;
- унос растворов в виде аэрозолей и капель в вентиляционные каналы для вентилируемых ванн;
- потери при фильтрации растворов и чистке ванн;
- потери при приготовлении и корректировании растворов;
- потери при регенерации электролитов под током.

Технологически неизбежные потери химиката рассчитывают по формуле:

$$П = H \cdot K \cdot S \cdot (1 + 0{,}01 \cdot \alpha) \cdot c_o \qquad (6.17)$$

где $H$ – норматив технологически неизбежных потерь (табл. 6.6), л/м$^2$; $K$ – поправочный коэффициент; $S$ – годовая программа нанесения покрытия, м$^2$/год; $\alpha$ – количество бракованных покрытий, %; $c_o$ – концен-

трация химиката в технологическом растворе, г/л.

Таблица 6.6

Норматив технологически неизбежных потерь растворов в процессах химической и электрохимической обработки деталей II группы сложности

| Наименование операции | Обрабатываемый материал или вид покрытия | Потери растворов, л/м$^2$ |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| *Подготовительные операции* | | |
| Обезжиривание органическими растворителями | Все металлы, кроме титана, алюминия, меди и её сплавов; все полированные покрытия, кроме медных сплавов | 0,84 |
| Обезжиривание химическое | Все металлы, сплавы, покрытия | 0,66-1,2* |
| Обезжиривание электрохимическое | Алюминий и его сплавы | 0, 84 |
| | Сталь всех марок, ковар | 0,94 |
| | Все металлы и сплавы, покрытия | 0,94 |
| | Цинковые сплавы, в т.ч. ЦАМ | 0,66 |
| Травление химическое | Сталь углеродистая, низко- и среднелегированная, чугун, ковар и т.д. | 0,94 |
| | Коррозионностойкие стали, медь и её сплавы, алюминий и его сплавы | 0, 84 |
| Снятие травильного шлама | Сталь; алюминий и его сплавы | 0, 84 |
| Активация химическая | Сталь, медь и её сплавы, алюминий и его сплавы, цинковые и кадмиевые покрытия | 0,66 |
| Полирование химическое | Медь и её сплавы, в т.ч. бериллиевые бронзы, алюминий высокой чистоты, сталь коррозионностойкая | 0, 84 |
| Полирование электрохимическое | Сталь, алюминий и его сплавы | 0,66 |
| | Медь и её сплавы | 0,48 |
| **Получение металлических покрытий электрохимическим способом** | | |
| Цинкование, кадмирование, оловянирование | Сталь, чугун | 0,2 |
| Оловянирование контактное | Алюминиевые сплавы | 0,39 |
| Никелирование матовое | Медь, сталь, алюминий | 0,33 |

Окончание табл. 6.6

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| Никелирование блестящее | Медь, сталь, алюминий | 0,36 |
| Меднение, латунирование | Медь, никелевые покрытия | 0,25 |
| Свинцевание | Сталь, чугун, медь и её сплавы | 0,2 |
| Хромирование | Сталь, медь и её сплавы | 0,25 |
| **Получение покрытий химическим способом** | | |
| Химическое никелирование | Сталь, алюминий, титан, медь и сплавы на их основе | 0, 84 |
| Фосфатирование холодное | Сталь | 1,2 |
| Фосфатирование горячее | Сталь, чугун | 1,9 |
| Фосфатирование | Цинковые и кадмиевые покрытия, стали углеродистые, низко- и среднелегированные | 0, 84 |
| Химическое оксидирование | Сталь, чугун | 0,54 |
| Анодное оксидирование | Алюминий и его сплавы | 0,48 |
| Химическое оксидирование | Алюминий и его сплавы | 1,8 |
| **Дополнительная обработка покрытий** | | |
| Осветление и пассивирование | Цинковые и кадмиевые покрытия | 0,48 |
| | Медь и её сплавы, сталь коррозионностойкая | 0,36 |
| Осветление | Алюминий и его сплавы | 0,50 |
| Пассивирование | Оловянные покрытия | 0,36 |
| Наполнение хроматами, красителем | Фосфатные и оксидные покрытия | 0,50 |
| Нейтрализация | Все металлы | 0,38 |
| Промасливание | Фосфатные и оксидные покрытия | 0,53 |

Примечание: * – в зависимости от загрязнённости деталей.

Нормативы технологически неизбежных потерь (*Н*) зависят от сложности профиля деталей и характеристики оборудования и установлены в л раствора на 1 м$^2$ при обработке деталей II группы сложности на подвесках в стационарных ваннах (табл. 6.6), а в других случаях умножаются на поправочные коэффициенты (*К*):

- при покрытии на подвесках в автоматических и полуавтоматических линиях *К=0,8*;
- при обработке деталей в барабанах и колоколах погружного ти-

па *К=1,5*;

• при обработке деталей в колоколах наливного типа *К=1,8*;

• при подпитке технологической ванны промывной водой из ванны улавливания *К=0,5*;

• при обработке деталей других групп сложности профиля – по табл. 6.7.

Таблица 6.7

Классификация поверхности деталей по группам сложности и значения поправочных коэффициентов на сложность профиля деталей

| Группа сложности | Характеристика поверхности деталей | Коэффициент группы сложности |
|---|---|---|
| I | Поверхности деталей простой формы без резьбы (пластины, планки, фланцы, детали с рёбрами жёсткости, цилиндрические детали, валики, штифты) | 0,84 |
| II | Поверхности деталей, не имеющие труднопромываемых участков, задерживающих стекание жидкости (крепёжные детали с резьбой, рельефные детали со сквозными отверстиями, штампованные детали без полостей: петли, крюки, витые пружины, винты, болты) | 1,00 |
| III | Поверхности деталей, имеющие труднопромываемые участки, в которых может задерживаться раствор (детали с глухими отверстиями, с внутренней резьбой типа стаканов, коробок, муфт, кожухов) | 1,16 |

По-особому рассчитываются полезный расход и технологически неизбежные потери хромового ангидрида при хромировании и цианистого натрия при нанесении покрытий из цианистых электролитов.

При *хромировании и нанесении покрытий из цианистых растворов* полезный расход и технологически неизбежные потери хромового ангидрида и цианистого натрия рассчитывают по формуле:

$$P_{Пк} + П = H_{CrO_3,NaCN} \cdot S \cdot (1+0{,}01 \cdot \alpha)$$

Норматив расхода хромового ангидрида определяется по формуле:

$$H_{CrO_3} = c \cdot (П_д + П_к) + d \cdot (p + П_в \cdot c)\,, \qquad (6.18)$$

где $H_{CrO_3}$ – норматив расхода хромового ангидрида, г/м$^2$; $c$ – концентрация хромового ангидрида в электролите, г/л; $d$ – средняя толщина покрытия, мкм; $p$ – количество хромового ангидрида, необходимое для покрытия 1 м$^2$ при толщине слоя 1 мкм, $p$ = 14 г/(м$^2$·мкм); $П_в$ – потери электролита за счёт уноса в вентиляцию (табл. 6.8), л/(м$^2$·мкм); $П_д$ – потери электролита за счёт уноса с деталями и приспособлениями (табл. 6.8), л/м$^2$; $П_к$ – потери электролита при его корректировании, чистке и анализе (табл. 6.8), л/м$^2$.

Таблица 6.8

Величины потерь электролита хромирования при работе в стационарных ваннах

| Группа сложности деталей | Потери на унос в вентиляцию $П_в$, л/(м$^2$·мкм) | Потери на унос с деталями и приспособлениями $П_д$, л/м$^2$ | Потери при корректировании, чистке и анализе электролита $П_к$, л/м$^2$ |
|---|---|---|---|
| Защитно-декоративное и твёрдое хромирование | | | |
| I | 0,05 | 0,155 | 0,05 |
| II | 0,05 | 0,180 | 0,05 |
| III | 0,05 | 0,220 | 0,05 |
| Молочное хромирование | | | |
| I | 0,1 | 0,155 | 0,05 |
| II | 0,1 | 0,180 | 0,05 |
| III | 0,1 | 0,220 | 0,05 |

Средняя толщина покрытия определяется как среднеарифметическое значение между минимальной толщиной, указанной в конструкторской документации на деталь, и максимальной, следующей в ряду толщин покрытий, если в конструкторской документации нет особых указаний.

При хромировании с применением защитных средств (препарат хромин, хромоксан или плавающие шарики) нормативы расхода хромового ангидрида, полученные по формуле (6.18), необходимо умножить на коэффициент 0,85.

Норматив расхода цианистого натрия рассчитывают по формуле:

$$H_{NaCN} = c\cdot(П_д + П_к) + d\cdot(П_р + П_в\cdot c) \qquad (6.19)$$

где $H_{NaCN}$ – норматив расхода цианистого натрия, г/м$^2$; $c$ – концентрация цианистого натрия в электролите, г/л; $d$ – средняя толщина покрытия, мкм; $П_д$ – потери электролита за счёт уноса с деталями и приспособлениями (табл. 6.9), л/м$^2$; $П_к$ – потери электролита при его корректирова-

нии, фильтровании и анализе, л/м$^2$, $П_к$ = 0,05 л/м$^2$; $П_р$ – потери цианистого натрия за счёт окисления на аноде и карбонизации* при нанесении покрытия 1 м$^2$ толщиной 1 мкм (табл. 6.10), г/(м$^2$·мкм); $П_в$ – потери электролита за счёт уноса в вентиляцию, л/(м$^2$·мкм), $П_в$ = 0,015 л/(м$^2$·мкм).

Таблица 6.9

Величины потерь цианистых электролитов при уносе с деталями и приспособлениями при работе в стационарных ваннах

| Вид покрытия | Группа сложности | Потери $П_д$, л/м$^2$ |
|---|---|---|
| Цинкование и кадмирование | I | 0,065 |
| | II | 0,090 |
| | III | 0,115 |
| Меднение и латунирование | I | 0,095 |
| | II | 0,120 |
| | III | 0,145 |

Таблица 6.10

Величины потерь цианистого натрия за счёт разложения при работе в стационарных ваннах

| Вид покрытия | Потери при нанесения покрытия из электролита $П_р$, г/(м$^2$·мкм) | |
|---|---|---|
| | без нагрева | с нагревом |
| Цинкование | 2,95 | 3,69 |
| Меднение | 2,16 | 2,70 |
| Кадмирование | 2,50 | 2,86 |
| Нанесение сплава М-Ц (70) | 2,37 | 3,0 |

Потери цианистого натрия из-за разложения для покрытий, не приведённых в табл. 6.9, определяют по формуле:

$$П_р = \frac{100 \cdot M_{пк} \cdot П_р'}{g \cdot BT}, \qquad (6.20)$$

* Окисление на аноде: $CN^- + 2OH^- - 2e^- \rightarrow CNO^- + H_2O$

$2CNO^- + 4OH^- \rightarrow 2CO_2\uparrow + N_2\uparrow + 2H_2O + 6e^-$

Карбонизация: $2NaCN + CO_2 + H_2O \rightarrow Na_2CO_3 + 2HCN\uparrow$

где $П_р$ – потери цианистого натрия из-за разложения, г/(м$^2$·мкм); $М_{пк}$ – масса 1 м$^2$ покрытия толщиной 1 мкм, г/(м$^2$·мкм); $П_р'$ – потери цианистого натрия из-за разложения, мг/(А·с): 0,11 мг/(А·с) для электролитов без нагрева и 0,14 мг/(А·с) для электролитов с нагревом; $g$ – электрохимический эквивалент металла или сплава, мг/(А·с); $ВТ$ – выход металла по току, %.

Норматив расхода висмута сернокислого при покрытии сплавом олово-висмут (без учёта потерь из-за контактного выделения висмута на оловянных анодах) определяют по формуле:

$$Н_{вс} = p \cdot d + (П_д + П_к) \cdot c \,, \qquad (6.21)$$

где $Н_{вс}$ – норматив расхода висмута сернокислого, г/м$^2$; $p$ – полезный расход висмута сернокислого на 1 м$^2$ покрытия толщиной 1 мкм при содержании висмута в покрытии 1 %, г/(м$^2$·мкм) ($p$ = 0,13 г/(м$^2$·мкм); $d$ – средняя толщина покрытия, мкм; $c$ – концентрация висмута сернокислого в электролите, г/л; $П_д$ – потери электролита за счёт уноса с деталями и приспособлениями, л/м$^2$ (для I, II и III групп сложности деталей $П_д$ = 0,125; 0,145 и 0,175 л/м$^2$ соответственно); $П_к$ – потери электролита при его корректировании, фильтровании и анализе, л/м$^2$ ($П_к$ = 0,05 л/м$^2$).

При *удалении некачественных покрытий* полезный расход и технологически неизбежные потери химикатов рассчитывают по формуле:

$$Р_{Пк} + П = Н_{уд} \cdot d \cdot S \cdot (1+0{,}01 \cdot \alpha)$$

Нормативы расхода химикатов при удалении покрытий толщиной 1 мкм ($Н_{уд}$) указаны в табл. 6.11.

Технологически неизбежные потери драгоценного металла при нанесении серебра, палладия и родия составляют 1%, а при нанесении золота – 0,5 % от теоретической массы покрытия; возвратные отходы при нанесении покрытий из перечисленных металлов составляют 2 % от теоретической массы покрытия.

При расчёте расхода химикатов и растворимых анодов следует учитывать расход на нанесение недоброкачественных покрытий, переделку и удаление дефектных покрытий. При нанесении покрытий широко применяемыми металлами выход годных деталей с покрытиями составляет не менее 98 %, при нанесении покрытий на детали из алюминия, титана, магния и их сплавов, а также на детали, имеющие сварные и паяные соединения, и детали, имеющие точные размеры после

покрытия, выход годных деталей составляет не менее 95%.

Таблица 6.11

Нормативы расхода химикатов при удалении покрытий толщиной 1 мкм

| Вид покрытия | Металл основы | Способ удаления покрытия | Наименование компонентов раствора | Концентрация, г/л | Норматив расхода, г/(м$^2$·мкм) |
|---|---|---|---|---|---|
| Цинковое | Сталь | Химический | Кислота серная | 150-200 | 31,5 |
| Фосфатное | | | Кислота соляная техн. | 150-300 | 20,4 |
| | | | Ингибитор | 1-2 | 0,225 |
| Оксидное | | | | | |
| Кадмиевое | Сталь, медь и её сплавы | Химический | Аммоний азотнокислый | 100-150 | 10,0 |
| | | | Кислота соляная техн. | 11,0 | 1,0 |
| Никелевое | Сталь, медь | Электрохимический | Кислота серная техн. | 1100-1200 | 55,0 |
| | | | Глицерин сырой | 20-25 | 5,0 |
| Никелевое и медное | Сталь | Электрохимический | Натрий азотнокислый | 300-400 | 23,0 |
| Хромовое | Сталь | Электрохимический | Натр едкий техн. | 100-125 | 15,0 |
| Хромовое | Никель | Химический | Кислота соляная техн. | 150-200 | 15,0 |
| Никелевое | Сталь, медь | Химический | Метанитроанилин | 50-60 | 46,2 |
| | | | Калий роданистый | 3-5 | 3,4 |
| | | | Кислота серная | 100 | 84,0 |
| Медное | Сталь | Химический | Кислота соляная техн. | 150-200 | 15,0 |
| | | | Ангидрид хромовый | 250-300 | 25,0 |
| | | | Аммоний сернокислый | 100-120 | 10,0 |
| Свинцовое, оловянное, покрытие сплавом олово-свинец | Сталь | Электрохимический | Натр едкий техн. | 59-80 | 10,0 |

Расход химикатов при замене отработанного раствора ($P_{см}$, г/год) определяют по формуле:

$$P_{см} = \frac{c \cdot S \cdot (1 + 0{,}01 \cdot \alpha)}{K_{см}} \qquad (6.22)$$

где $P_{см}$ – расход химиката при замене раствора, г/год; с – концентрация химиката в технологическом растворе, г/л; $S$ – годовая программа нанесения покрытия, м$^2$/год; $\alpha$ – величина брака, %; $K_{см}$ – удельная работоспособность технологических растворов* (по табл. 6.12), м$^2$/л.

Таблица 6.12

Ориентировочные значения удельной работоспособности технологических растворов

| Наименование операции | Удельная работоспособность, $K_{см}$, м$^2$/л |
|---|---|
| Щелочное обезжиривание | 1,0-1,5 |
| Травление сталей, меди и медных сплавов | 0,5-1,0 |
| Активация стали | 1,0-1,5 |
| Нанесение металлических покрытий в щелочных и цианистых электролитах | 50 |
| Нанесение металлических покрытий в кислых, аммиакатных, пирофосфатных и других электролитах | 25 |
| Хромирование | 50 |
| Осветление цинковых и кадмиевых покрытий | 2-3 |
| Пассивация цинковых и кадмиевых покрытий | 0,5-1,0 |
| Травление алюминия и его сплавов, титана | 1,5-3,0 |
| Осветление алюминия и его сплавов | 2-4 |
| Химическое оксидирование стали | 3-4 |
| Химическое оксидирование магниевых сплавов | 1,5-2,0 |
| Химическое оксидирование алюминия и его сплавов | 0,8-1,5 |
| Анодное оксидирование алюминия, алюминиевых и магниевых сплавов | 2-4 |
| Фосфатирование | 0,8-1,5 |
| Электрополирование сталей | 1-2 |
| Химическое и электрохимическое полирование алюминия | 1-2 |
| Пассивация сталей | 1,5-2,0 |

* Величина удельной работоспособности показывает, сколько м$^2$ поверхности деталей можно обработать в 1 л технологического раствора до потери им работоспособности (до момента, когда требуется его замена или регенерация)

Если отработанные технологические растворы используются для приготовления других растворов или же из них регенерируются и вновь используются отдельные компоненты, то годовая потребность в химикатах соответственно уменьшается на их утилизированное количество.

Расход химикатов на приготовление растворов при запуске оборудования определяют на основании рабочего объёма ванны и рецептурного содержания компонентов по формуле:

$$P_{зап} = c_o \cdot V : 1000 \qquad (6.23)$$

где $P_{зап}$ – расход химиката при запуске оборудования, кг; $c_o$ – максимальная концентрация химиката в технологическом растворе, г/л; $V$ – объём ванны, л.

Таким образом, расход химикатов в первом году работы цеха определяют по формуле:

$$M_x = P_{Пк} + П + P_{см} + P_{зап}$$

а ежегодный расход химикатов в последующих годах (после 1-го года) работы цеха определяют по формуле:

$$M_x = P_{Пк} + П + P_{см}$$

Рассмотрим ***пример расчёта*** расхода химикатов для рассчитанной в § 6.2 линии цинкования стальных деталей.

При электрохимическом обезжиривании:

расход NaOH, $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ и $Na_2CO_3$ одинаков (т.к. одинакова их концентрация в растворе) и составляет (по табл. 6.6 и 6.11)
на работу: *0,94 (л/м$^2$)·35 (г/л)·30000 (м$^2$/год) ·1,02 (учет брака) = 1006,7 (кг/год)*
на приготовление ванны при запуске: *35 (г/л)·530 (л) = 18,6 (кг)*
на замену ванны: *35(г/л)·30000(м$^2$/год) ·1,02(учет брака):1,5= 714,0 (кг/год)*
суммарный расход каждого компонента (NaOH, $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ и $(Na)_2CO_3$)
в 1-м году работы по *1006,7+18,6+714,0 = 1739,3 (кг/год)*
ежегодный расход по *1006,7+714,0 = 1720,7 (кг/год)*

расход синтамида-5 составляет (по табл. 6.6 и 6.11)
на работу: *0,94 (л/м$^2$)·3 (г/л)·30000 (м$^2$/год) ·1,02 (учет брака) = 86,3 (кг/год)*
на приготовление ванны при запуске: *3 (г/л)·530 (л) = 1,6 (кг)*
на замену ванны: *3(г/л)·30000(м$^2$/год) ·1,02(учет брака):1,5= 61,2 (кг/год)*
суммарный расход 1-го года работы: *86,3+1,6+61,2 = 149,1 (кг/год)*
ежегодный расход: *86,3+61,2 = 147,5 (кг/год)*

При активировании стали:

расход HCl составляет (по табл. 6.6 и 6.11)
на работу: *0,66 (л/м$^2$)·100 (г/л)·30000 (м$^2$/год) ·1,02 (учет брака) = 2019,6 (кг/год)*
на приготовление ванны при запуске: *100 (г/л)·530 (л) = 53,0 (кг)*
на замену ванны: *100 (г/л)·30000(м$^2$/год) ·1,02(учет брака):1,5= 2040,0 (кг/год)*
суммарный расход 1-го года работы: *2019,6+53,0+2040,0 = 4112,6 (кг/год)*
ежегодный расход: *2019,6+2040,0 = 4059,6 (кг/год)*

При цинковании:

расход $ZnCl_2$ составляет (по табл. 6.6 и 6.11)
на работу: *0,2 (л/м$^2$)·120 (г/л)·30000 (м$^2$/год) ·1,02 (учет брака) = 734,4 (кг/год)*
на приготовление ванны при запуске: *120 (г/л)·530 (л) = 63,6 (кг)*
на замену ванны: *120 (г/л)·30000(м$^2$/год) ·1,02(учет брака):25= 146,9 (кг/год)*
суммарный расход 1-го года работы: *734,4+63,6+146,9 = 944,9 (кг/год)*
ежегодный расход: *734,4+146,9 = 881,3 (кг/год)*

расход KCl составляет (по табл. 6.6 и 6.11)
на работу: *0,2 (л/м$^2$)·220 (г/л)·30000 (м$^2$/год) ·1,02 (учет брака) = 1346,4 (кг/год)*
на приготовление ванны при запуске: *220 (г/л)·530 (л) = 116,6 (кг)*
на замену ванны: *220 (г/л)·30000(м$^2$/год) ·1,02(учет брака):25= 269,3 (кг/год)*
суммарный расход 1-го года работы: *1346,4+116,6+269,3 = 1732,3 (кг/год)*
ежегодный расход: *1346,4+269,3 = 1615,7 (кг/год)*

расход $H_3BO_3$ составляет (по табл. 6.6 и 6.11)
на работу: *0,2 (л/м$^2$)·25 (г/л)·30000 (м$^2$/год) ·1,02 (учет брака) = 153,0 (кг/год)*
на приготовление ванны при запуске: *25 (г/л)·530 (л) = 13,3 (кг)*
на замену ванны: *25 (г/л)·30000(м$^2$/год) ·1,02(учет брака):25= 30,6 (кг/год)*
суммарный расход 1-го года работы: *153,0+13,3+30,6 = 196,9 (кг/год)*
ежегодный расход: *153,0+30,6 = 183,6 (кг/год)*

расход добавки ЦКН-3 составляет (по табл. 6.11)
на работу: (по паспорту на добавку её удельный расход составляет 25 мл/м$^2$):
*25 (мл/м$^2$)·30000 (м$^2$/год) ·1,02 (учет брака) = 765,0 (л/год)*
на приготовление ванны при запуске: 50 *(мл/л)·530 (л) = 25,5 (л)*
на замену ванны: 50 *(мл/л)·30000(м$^2$/год) ·1,02(учет брака):25= 61,2 (л/год)*
суммарный расход 1-го года работы: *765,0+25,5+61,2 = 851,7 (л/год)*
ежегодный расход: *765,0+61,2 = 826,2 (л/год)*

При осветлении цинкового покрытия:

расход $HNO_3$ составляет (по табл. 6.6 и 6.11)
на работу: *0,48 (л/м$^2$)·30 (г/л)·30000 (м$^2$/год) ·1,02 (учет брака) = 440,6 (кг/год)*
на приготовление ванны при запуске: *30 (г/л)·530 (л) = 15,9 (кг)*

на замену ванны: *30 (г/л)·30000(м$^2$/год) ·1,02(учет брака):3= 306,0 (кг/год)*
суммарный расход 1-го года работы: *440,6+15,9+306,0 = 762,5 (кг/год)*
ежегодный расход: *440,6+306,0 = 746,6 (кг/год)*

При хроматировании цинкового покрытия:

расход $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$ составляет (по табл. 6.6 и 6.11)
на работу: *0,48 (л/м$^2$)·150 (г/л)·30000 (м$^2$/год) ·1,02 (учет брака) = 2203,2 (кг/год)*
на приготовление ванны при запуске: *150 (г/л)·530 (л) = 79,5 (кг)*
на замену ванны: *150 (г/л)·30000(м$^2$/год) ·1,02(учет брака):1= 4590,0 (кг/год)*
суммарный расход 1-го года работы: *2203,2+79,5+4590,0 = 6872,7 (кг/год)*
ежегодный расход: *2203,2+4590,0 = 6793,2 (кг/год)*

расход $H_2SO_4$ составляет (по табл. 6.6 и 6.11)
на работу: *0,48 (л/м$^2$)·10 (г/л)·30000 (м$^2$/год) ·1,02 (учет брака) = 146,9 (кг/год)*
на приготовление ванны при запуске: *10 (г/л)·530 (л) = 5,3 (кг)*
на замену ванны: *10 (г/л)·30000(м$^2$/год) ·1,02(учет брака):1= 306,0 (кг/год)*
суммарный расход 1-го года работы: *146,9+5,3+306,0 = 458,2 (кг/год)*
ежегодный расход: *146,9+306,0 = 452,9 (кг/год)*

## 7. Обеспечение безопасности труда

### 7.1. Химические и физические опасные и вредные факторы

Процессы приготовления и корректирования электролитов, обработки поверхности и нанесения гальванических покрытий характеризуются многообразием применяемых химических веществ. Это соли никеля, меди, цинка, кадмия, хрома и других металлов, хромовый ангидрид, нитрит натрия, цианистые соли, соли аммония, формальдегид, поверхностно-активные вещества, щелочи, кислоты и другие вредные вещества. Растворы многих из этих веществ применяются в нагретом состоянии.

Работа с химическими веществами создаёт опасность отравлений, ожогов и профессиональных заболеваний. Степень отрицательного воздействия химических веществ на организм человека зависит от их физико-химических свойств, агрегатного состояния, класса опасности вещества, времени и характера воздействия, путей поступления вещества в организм, состояния организма и других вредных факторов.

При несоблюдении мер предосторожности и техники безопасности вредные вещества могут поступать в организм человека через органы дыхания, кожу и пищеварительный тракт.

Вдыхание вредных веществ в виде газов, паров или аэрозолей приводит к поражению верхних дыхательных путей и общетоксичному воздействию при всасывании веществ через кровь. При вдыхании паров кислот (соляной и азотной) отмечаются поражения слизистой оболочки носоглотки и гортани, что может привести к хроническим заболеваниям (риниту, фарингиту, бронхиту) и разрушению зубной эмали. В табл. 7.1 приведены предельно допустимые концентрации вредных газов и паров в атмосфере и класс их опасности. Концентрация вредных веществ в приземном слое атмосферы не должны превышать ПДК для населённых пунктов, а для промышленной площадки 0,3 ПДК в воздухе рабочей зоны.

При выполнении ручных операций вредные вещества проникают через кожу. Воздействие кислот и щелочей может вызвать раздражение или ожоги кожи. Ожоги щелочами протекают значительно тяжелее. Кроме того, щелочи обладают ярко выраженным обезжиривающим действием на кожу, что приводит к нарушению её защитных функций и в

результате одновременного или последующего контакта с хромом и никелем, способствует развитию кожных заболеваний (экзем, дерматитов).

Таблица 7.1

Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных газов и паров в атмосфере и класс их опасности

| Наименование вещества | Агрегатное состояние | Класс опасности | ПДК, мг/м$^3$ | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | в рабочей зоне производст. предприятий | в атмосферном воздухе населенных мест | |
| | | | | максимально разовая | среднесуточная |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** |
| Азота оксид NO | п | 3 | 30 | 0,6 | 0,06 |
| Азота диоксид $NO_2$ | п | 2 | 2 | 0,085 | 0,04 |
| Азотная кислота $HNO_3$ | п | 2 | 5 | 0,4 | 0,15 |
| Алюминий фтористый $AlF_3$ (в пересчёте на $F^-$) | а | 2 | 2,5 | 0,2 | 0,03 |
| Аммиак $NH_3$ | п | 4 | 20 | 0,2 | 0,04 |
| Барий сернокислый $BaSO_4$ | а | | 6 | – | – |
| Борная кислота $H_3BO_3$ | а | 3 | 10 | – | 0,02 |
| Железа сульфат (в пересчёте на Fe) | а | 3 | – | – | 0,07 |
| Железа хлорид (в пересчёте на Fe) | а | 2 | – | – | 0,04 |
| Кадмия оксид CdO (в пересчёте на Cd) | а | 1 | 0,1 | – | 0,0003 |
| Кадмий сернокислый $CdSO_4$ (в пересчёте на Cd) | а | 1 | – | – | 0,0003 |
| Калия гидроксид KOH | а | 2 | 2 | – | – |
| Меди оксид CuO (в пересчёте на Cu) | а | 2 | 1 | – | 0,002 |
| Медь сернокислая $CuSO_4$ (в пересчёте на Cu) | а | 2 | – | 0,003 | 0,001 |
| Натрий кремнефтористый $Na_2SiF_6$ | а | | 2,5 | 0,03 | 0,01 |
| Натрий роданистый NaSCN | а | | 50 | | |
| Натрий фтористый NaF (в пересчёте на $F^-$) | а | 2 | 0,2 | 0,03 | 0,01 |
| Натрия гидроксид NaOH | а | 2 | 0,5 | – | – |
| Никеля растворимые соли (в пересчёте на Ni) | а | 1 | 0,005 | 0,002 | 0,0002 |
| Никель сернокислый (в пересчёте на Ni) | а | 1 | – | 0,002 | 0,001 |

Окончание табл. 7.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| Озон $O_3$ | п | 1 | 0,1 | 0,16 | 0,03 |
| Олово и его неорганические соединения, кроме $SnF_2$ и SnO | а | 3 | 2 | 0,5 | 0,05 |
| Пыль нетоксичная | – | 3 | 10 | 0,5 | 0,15 |
| Свинец и его неорганические соединения, кроме тетраэтилсвинца (в пересчёте на Pb) | а | 1 | 0,01 | – | 0,0003 |
| Серы оксид $SO_2$ | п | 3 | 10 | 0,5 | 0,05 |
| Серы оксид $SO_3$ | а | 2 | 1 | 0,5 | 0,05 |
| Серная кислота $H_2SO_4$ | а | 2 | 1 | 0,3 | 0,1 |
| Сероводород $H_2S$ | п | 2 | 10 | 0,008 | 0,008 |
| Уксусная кислота $CH_3COOH$ | п | 3 | 5 | 0,2 | 0,06 |
| Фтористый водород HF | п | 2 | 0,05 | 0,02 | 0,005 |
| Фтористой кислоты соли | а | 2 | 1 | 0,03 | 0,01 |
| Хлористый водород HCl | п | 2 | 5 | 0,2 | 0,2 |
| Хрома оксид $Cr_2O_3$ | а | 2 | 1 | – | – |
| Хрома оксид $CrO_3$ | а | 1 | 0,01 | 0,0015 | 0,0015 |
| Цианистый водород, соли синильной кислоты (в пересчёте на HCN) | п | 2 | 0,3 | – | 0,01 |
| Цинк хлористый $ZnCl_2$ | а | 3 | 1,0 | – | – |
| Цинка оксид ZnO | а | 3 | 0,5 | – | 0,05 |
| Этилендиамин $(CH_2NH_2)H_2O$ | п | 3 | 2 | – | – |
| Тетрахлорэтилен $C_2Cl_4$ | п | 2 | 10 | 0,5 | 0,06 |

Примечание: 1. Знак "п" – пары или газы; "а" – аэрозоль.
2. 1-й класс опасности – чрезвычайно опасные вещества,
2-й класс опасности – высокоопасные вещества,
3-й класс опасности – умеренно опасные вещества,
4-й класс опасности – малоопасные вещества

Вредные вещества могут поступать в организм работающих с водой, пищей и при курении. Из-за опасности острого отравления с весьма тяжёлыми последствиями необходимо постоянное внимание и соблюдение правил личной гигиены.

Наиболее токсичны хром и его соединения. Они оказывают вредное воздействие на печень, почки, пищеварительную, сердечно-сосудистую систему, кожу и слизистые оболочки. У работающих с хромом и его соединениями могут возникать кашель, насморк, чихание вплоть до кровотечений из носа, изъязвления тканей верхних дыхательных путей, перфорация носовой перегородки. При воздействии на кожу даже слабых растворов хромовых соединений начинаются изъязвления, дерматит, экзема.

Представляют опасность соли никеля (сернокислый, солянокислый никель). При их воздействии воспаляется слизистая оболочка носа, а при длительном воздействии появляются признаки бронхиальной астмы. Аллергическое действие солей никеля особенно сильно может проявиться после контакта со щелочами и растворителями, обезжиривающими кожу.

Медь и её соли могут поражать зубы, слизистую оболочку рта, привести к раздражению кожи, язве желудка; соединения цинка – к поражению слизистых носа, языка, дёсен.

В производстве гальванопокрытий широко применяют цианистые соединения. При постоянном контакте с цианистыми солями могут возникнуть поражения кожи, сопровождающиеся зудом, изъязвлениями, хронической экземой. Вдыхание паров синильной кислоты или цианистого водорода опасно! В начальной стадии отмечается металлический привкус во рту, слюнотечение, покраснение глаз, тошнота, рвота, одышка, пульсация височных артерий, судороги. При продолжительном воздействии этих веществ наступает быстрая потеря сознания и прекращение дыхания.

Для обеспечения безопасного уровня загрязнения атмосферы в рабочей зоне используется вентиляция, работа которой описана в гл.8.

Характер отрицательного воздействия на работающих зависит от физико-химических свойств веществ. Воздействие химических веществ и соединений в условиях высоких температур значительно усиливается. При высокой температуре воздуха расширяются кожные сосуды, усиливается потовыделение, учащается дыхание работающего, что ускоряет проникновение вредных веществ в организм. Кроме того, при высокой температуре увеличиваются скорость испарения и летучесть веществ, что способствует возрастанию концентрации загрязнений в воздухе рабочей зоны.

Наряду с химическими опасными и вредными факторами технологический процесс нанесения гальванопокрытий характеризуется и физическими факторами: шумом, вибрацией и др. Перечень физических и химических опасных и вредных производственных факторов, характерных для отдельных технологических операций нанесения гальванических покрытий, приведён в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Физические и химические опасные и вредные факторы и пожаро- и взрывобезопасность процесса очистки поверхности изделий

| Наименование операции | Опасные и вредные факторы | | | | Взрывоопасность | Пожароопасность |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Повышенный уровень вибрации и шума | Опасный уровень напряжения электрической цепи | Повышенная температура поверхности оборудования, материалов | Прочие физически- и химически опасные и вредные факторы | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Химическое обезжиривание щелочными растворами | – | – | + | Повышенная загазованность парами щелочных растворов, брызги щелочей | – | – |
| Электрохимическое обезжиривание щелочными растворами | – | – | + | Повышенная загазованность парами щелочных растворов, брызги щелочей | + | + |
| Активация | – | – | – | Повышенная загазованность парами серной и соляной кислот, брызги кислот | – | – |
| Травление химическое | – | – | + | Повышенная загазованность парами серной, соляной и азотной кислот, оксидом азота. | – | – |
| Травление катодное | – | + | + | Повышенная загазованность фтористым водородом, парами серной, соляной и азотной кислот, оксидом азота. | + | – |

Продолжение табл. 7.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Травление анодное | – | + | + | Повышенная загазованность парами серной и фосфорной кислот, хромового ангидрида, брызг кислот | + | – |
| Осветление алюминия и его сплавов | – | – | – | Выделение паров и брызг раствора кислоты | – | – |
| Одновременное химическое обезжиривание и травление алюминия и его сплавов | – | + | + | Выделение паров и брызг щелочных растворов | – | – |
| Химическое полирование | – | – | + | Повышенная загазованность парами хромового ангидрида, серной и ортофосфорной кислот, оксидами азота | – | – |
| Приготовление растворов кислот и щелочей | – | – | – | Повышенная загазованность парами кислот, фтористым и хлористым водородом, растворами щелочей | – | – |
| Катодное нанесение покрытий в цианистых растворах | – | + | – | Повышенная загазованность парами щелочи и синильной кислоты, брызги щелочи | – | – |
| Катодное нанесение покрытий в аммиакатных растворах | – | + | – | Соединения тяжёлого металла, аммиак | – | – |
| Цинкование, кадмирование, оловянирование, свинцевание и меднения в кислых растворах | – | + | – | Соединения цинка, кадмия, олова и меди, повышенная загазованность парами кислот | – | – |
| Никелирование | – | + | + | Брызги электролита | – | – |
| Хромирование | – | + | + | Пары хромового ангидрида, пары и брызги серной кислоты | – | – |

Окончание табл. 7.2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Анодное окисление | + | + | + | Повышенная загазованность парами серной, щавелевой, фосфорной кислот, бихроматов, аммиаком | – | – |
| Оксидирование чёрных металлов | – | + | + | Повышенная загазованность оксидами азота, парами щелочей и фосфорной кислоты, брызги щелочей, нитритные соли | – | + |
| Оксидирование алюминия и его сплавов | – | – | – | Повышенная загазованность парами хромовых соединений, щелочей или фтористым водородом | – | – |
| Оксидирование магния и его сплавов | – | + | + | Повышенная загазованность парами хромовых соединений, щелочей или фтористым водородом | – | + |
| Хроматирование | – | – | – | Повышенная загазованность парами кислот и оксидами азота. Соединения хрома, брызги кислот | – | – |
| Фосфатирование чёрных металлов | – | – | + | Повышенная загазованность соединениями цинка, фосфорной кислоты, фтористым водородом | – | – |
| Фосфатирование цветных металлов | – | – | + | Повышенная загазованность соединениями цинка, фтористым водородом. Соли азотной и азотистой кислот | – | – |
| Наполнение в воде | – | – | + | | – | – |
| Наполнение бихроматами | – | – | + | Соединения хрома | – | – |
| Промывка в горячей воде | – | – | + | Выделение водяного пара и брызг горячей воды | – | – |
| Сушка сжатым воздухом | + | + | – | – | – | – |

Условные обозначения: "+" – фактор существует, "–" – фактор отсутствует.

Источниками шума и вибраций в гальванических цехах являются шлифовальные и полировальные станки, гидропескоструйное и дробеструйное оборудование, галтовочные барабаны, генераторы постоянного тока, выпрямители переменного тока и вентиляторы. Количественная характеристика шума зависит от численности, типа, мощности и взаимного расположения шумящего оборудования. Так, шлифовальные и полировальные станки, дробильное и размольное оборудование, галтовочные барабаны могут генерировать на рабочем месте шумы, превышающие предельно допустимый уровень. Работа камер струйной очистки часто приводит к образованию средне- и высокочастотного шума с уровнем звукового давления 84–92 дБ(А). На рабочих местах гальваника при нанесении хрома, кадмия, меди, цинка, никеля возможны уровни шума до 86 дБ (А).

Воздействие шума на организм человека приводит к быстрой утомляемости, снижению производительности труда, оказывает вредное влияние на органы слуха, нервную систему. Длительное воздействие шума может приводить к гипертонической болезни, тугоухости и другим заболеваниям.

Несмотря на то, что работа почти всех видов оборудования гальванических цехов выполняется с применением постоянного тока напряжением 12 В, в гальванических цехах всё же существует опасность поражения электрическим током, поскольку вспомогательное оборудование – двигатели, генераторы, преобразователи тока, светильники, вентиляторы и насосы, питаются током напряжением 380/220 В. Кроме того, для некоторых процессов, например при оксидировании алюминия, необходим ток напряжением 120 В.

Повышенная влажность в помещении (75 % и более), наличие агрессивных сред, возможность одновременного прикосновения человека к заземлённым частям и корпусам электрооборудования (они могут случайно оказаться под напряжением) позволяют классифицировать гальванические цеха по степени опасности поражения электрическим током как особо опасные помещения.

Для защиты человека от поражения электрическим током в гальванических цехах:

– электропроводящие шины располагают в местах, недоступных для случайного прикосновения, и покрывают устойчивыми лаками или красками;

– участки шинопроводов, расположенные вблизи сильно нагретых устройств (паропроводов и т.п.), теплоизолируют;

– электропроводящие шины, прокладываемые под ваннами, защищают специальными укрытиями (коробами); металлические укрытия заземляют;

– применяют электродвигатели и электроаппаратуру во влагонепроницаемом исполнении;

– электролизные ванны изолируют от земли;

– сборные баки отработанного электролита обязательно заземляют.

По взрывопожарной и пожарной опасности гальванических цех (участок) относится к категории Д, по классу помещений по взрывоопасности является не взрыво- и не пожароопасным. В помещениях цеха устанавливаются пенные огнетушители.

### 7.2. Отопление

Воздушная среда является важнейшим элементом условий труда на производстве. Излишняя влажность или низкая температура, запылённость воздуха, загазованность, сквозняки оказывают вредное воздействие на организм человека, вызывают снижение его работоспособности, увеличивают возможность травматизма и профессиональных заболеваний.

Нормативные параметры микроклимата для производственных помещений приведены в ГОСТ 12.1.005, в соответствии с которым должны поддерживаться температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в рабочей зоне. Установлены нормативы для оптимального и допустимого микроклимата.

Оптимальный микроклимат – сочетание его параметров, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения реакций терморегуляции. Оптимальный микроклимат обеспечивает ощущение комфорта и создают предпосылки для сохранения высокого уровня работоспособности.

Допустимый микроклимат – сочетание его параметров, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать переходящие и быстро исчезающие изменения функционального и теплового состояния организма и напряжения терморегуляции, не выходящие за пределы физиологических приспособительных возможно-

стей. При допустимом микроклимате не возникает повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут появиться дискомфортные теплоощущения, ухудшаться самочувствие и снижаться работоспособность.

Гальванические цеха характеризуются незначительными удельными выделениями избытков теплоты – менее 20 ккал/м$^3$·ч (менее 23 Дж/м$^3$·с), а работы, производимые в этих цехах, относятся к категории работ средней тяжести – IIа (работы, связанные с ходьбой, выполняемые стоя, не требующие перемещения тяжестей) или IIб (работы, требующие перемещения тяжестей до 10 кг).

При этих условиях допустимы следующие параметры микроклимата:

***в холодный и переходный периоды года*** (температура наружного воздуха ниже 10 ºС):

- температура для работ категории IIа 17-23 ºС, а для работ категории IIб 15-21 ºС,
- относительная влажность – не более 75 %,
- скорость движения воздуха – не более 0,3 м/с для работ категории IIа или 0,4 м/с для работ категории IIб;

***в тёплый период года***:

- температура должна быть не более, чем на 3 ºС выше средней температуры наружного воздуха в 13 ч дня самого жаркого месяца, но не более 31 ºС;
- относительная влажность при 28-31 ºС – не более 55 %, при 27 ºС не более 60 %, при 26 ºС – не более 65 %, при 25 ºС – не более 70 % и при 24 ºС – не более 75 %;
- скорость движения воздуха должна быть 0,2-0,5 м/с (бóльшая скорость соответствует максимальной температуре воздуха и наоборот).

При оптимальных условиях действительны следующие параметры микроклимата:

- в холодный и переходный периоды года температура воздуха 17-19 °С, относительная влажность 60-40 %, скорость движения воздуха не более 0,3 м/с;
- в тёплый период года температура воздуха 20-22 °С, относительная влажность 60-40 %, скорость движения воздуха не более 0,4 м/с.

СНиП 2.04.05-86 предписывает принимать допустимые условия при проектировании отопления и вентиляции, а оптимальные условия при проектировании кондиционирования воздуха.

Обеспечение теплового режима на рабочем месте обеспечивается применением вентиляции с отоплением.

Расчётную температуру для холодного периода года и переходных условий при проектировании систем отопления рекомендуется принимать минимальной из допустимых, приведённых в ГОСТ 12.1.005.

Из-за того, что в гальванических цехах отсутствуют значительные выделения теплоты, в помещениях большого объёма устраивают воздушное отопление, совмещённое с подачей приточного воздуха, который нагревают до температуры более высокой, чем температура рабочей зоны цеха. Нагретый воздух подают в цех на высоте 3-4 м агрегатами подвесного типа. В качестве такого агрегата можно использовать "тепловую пушку", которая установлена на высоте 2,5-3,0 м и забирает воздух снаружи здания, а нагнетает нагретый воздух под потолок.

В небольших помещениях под окнами или вдоль стен устанавливают местные нагревательные приборы.

Если имеются постоянные рабочие места на расстоянии 2 м и менее от окон в наружных стенах, то под окном должны быть установлены местные нагревательные приборы для защиты работающих от ниспадающих потоков холодного воздуха. Если эти приборы не могут быть установлены, то системы воздушного отопления должны предусматривать подачу подогретого воздуха под окнами, если здание сооружается в местности с расчётной температурой наружного воздуха в холодный период года минус 15 °С и ниже.

Мощность систем, подающих подогретый воздух под окнами, следует рассчитывать на возмещение теплоты, теряемой через окна на высоту до 4 м от пола или рабочей площадки.

При воздушном отоплении следует предусматривать не менее двух систем (двух установок) или одну систему с резервным вентилятором и электродвигателем. При нескольких системах они должны быть рассчитаны так, чтобы в случае выхода из строя одной из них остальные обеспечили бы минимально допустимую температуру воздуха в помещении.

Если в помещении с ваннами имеются П-образные фонари, то следует предусмотреть систему подфонарного отопления, располагая с каждой стороны фонаря под остеклением гладкие трубы. Это необходимо для уменьшения конденсации влаги на остеклении фонарей. От остекления фонарей следует предусматривать отвод конденсата.

Дежурное отопление устраивают с местными нагревательными

приборами в небольших помещениях и воздушное в помещениях большого объёма. В нерабочее время воздушное отопление рекомендуют осуществлять с применением рециркуляции воздуха.

Рециркуляция воздуха допускается при условии, что концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны не превысит предельно допустимые концентрации.

Рециркуляцию воздуха при воздушном отоплении, не совмещенном с вентиляцией, можно предусматривать в пределах одного производственного помещения, если в нем отсутствуют выделения вредных веществ, возгоняющихся при соприкосновении с нагретыми поверхностями оборудования и калориферов систем воздушного отопления.

Для воздушного отопления, не совмещенного с вентиляцией, применяют рециркуляционные агрегаты.

Входные двери и ворота в наружных стенах должны иметь отапливаемые тамбуры и шлюзы. При невозможности устройства тамбуров и шлюзов должны быть предусмотрены воздушно-тепловые завесы. Притворы ворот должны иметь уплотнения.

При расчёте систем отопления учитывают:

– количество теплоты, подаваемое к ваннам с растворами, работающими при нагревании;
– теплопотери здания в зимнее время за счёт инфильтрации и эксфильтрации воздуха через щели в окнах, фонарях и дверях,
– теплопотери здания за счёт теплопроводности стен и перекрытий;
– расход тепловой энергии на приточную вентиляцию.

В табл. 7.3 приведены показатели удельных теплопотерь здания и удельных расходов тепловой энергии на приточную вентиляцию, на которые можно ориентироваться при расчётах отопления в холодный период года.

Таблица 7.3

Показатели удельных теплопотерь здания и удельных расходов тепловой энергии на приточную вентиляцию

| Объём здания, тыс.м$^3$ | до 2 | 2-5 | 5-10 | 50-100 | 100-150 |
|---|---|---|---|---|---|
| Теплопотери, кДж/(м$^3$·ч, ºС) | 2,7-2,5 | 2,5-2,3 | 2,3-1,9 | 1,62-1,51 | 1,51-1,26 |
| Расход на приточную вентиляцию, кДж/(м$^3$·ч, ºС) | 21-17 | 17,0-12,5 | 12,5-8,2 | 2,2-1,9 | 1,90-1,51 |

### 7.3. Освещение

***Естественное освещение*** обеспечивается световыми проёмами в стенах и кровле верхних этажей. Световые проёмы должны быть оборудованы специальными приспособлениями (площадками), позволяющими передвигаться по фронту световых проёмов для очистки их от пыли и грязи.

При ***искусственном освещении*** цеха применяют систему либо общего, либо комбинированного (общее плюс местное) освещения. Система комбинированного освещения рекомендуется на операциях шлифования и полирования, а также на местах контроля показаний измерительных приборов и проведения визуальных контрольных операций. Во всех остальных случаях, т.е. при освещении участков очистки поверхности, нанесения покрытий, приготовления растворов, мойки оборудования, следует использовать систему общего освещения.

При организации искусственного освещения рекомендуется использовать газоразрядные лампы. Применение ламп накаливания допустимо лишь в отдельных случаях, когда необходимые по условиям среды осветительные приборы отсутствуют. При высоте потолка до 6 м для освещения целесообразно использовать люминесцентные лампы, а при бóльших высотах – металлогалогенные либо дуговые ртутные люминесцентные лампы. В зоне высокой концентрации кислот и щелочей целесообразно применять осветительные приборы из фарфора или стеклопластика. Применение осветительных приборов из алюминия на участке, где возможно выделение щелочных аэрозолей, недопустимо. Не допускается также применение источников света без соответствующей осветительной арматуры в помещениях для производства покрытий. Применение в одном помещении источников света с различным спектром допускается, если при этом на рабочих поверхностях не возникают разноцветные тени.

Во всех помещениях, где имеются открытые поверхности жидкостей или производится работа с предметами, имеющими блестящую (зеркально отражающую) поверхность, должны применяться светильники с полупрозрачными (молочными или матовыми) рассеивателями или лампами с полупрозрачными (молочными или матовыми) колбами. Допускается устранять отражённую блёсткость путём соответствующего выбора направлений световых потоков.

Светильники общего освещения с любыми источниками света ре-

комендуется устанавливать в линии, ориентированные вдоль помещения и расположенные над рядами оборудования (ванны, столы), а также над рабочими местами, где возможно затемнение рабочего места корпусом работающего. При ширине ванны не более 0,8 м осветительные приборы могут быть расположены непосредственно над ними, а при ширине ванны более 0,8 м линии осветительных приборов целесообразно сдвинуть (приблизительно на 0,5 м), разместив их над тем краем ванн, у которых расположены рабочие места.

Расчёт числа светильников электрического освещения производится по формуле:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K}{F \cdot u \cdot m} \qquad (7.1)$$

где $F$ – световой поток одной лампы, лм; $E$ – нормированная освещённость, лк; $S$ – площадь помещения, м$^2$; $Z$ – поправочный коэффициент светильника (1,1-1,3); $K$ – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещённости при эксплуатации, (1,1-1,3); $u$ – коэффициент использования, зависящий от типа светильника, показателя помещения и отражённости (0,55-0,6); $m$ – число ламп в светильнике, шт.

В табл. 7.4 приведены нормируемые показатели освещения для основных производственных участков гальванических цехов, расположенных в III поясе светового климата.

Освещенность от системы общего освещения должна составлять не менее 200 лк при разрядных лампах и 100 лк при лампах накаливания. Создавать освещенность более 750 лк при разрядных лампах и 300 лк при лампах накаливания допускается только при наличии обоснований.

В производственных помещениях освещенность проходов и участков, где работа не производится, должна составлять не более 25 % нормируемой освещенности, создаваемой светильниками общего освещения, но не менее 75 лк при разрядных лампах и не менее 30 лк при лампах накаливания.

Защитный угол светильников местного освещения должен быть не менее 30°. В случае расположения светильника не выше уровня глаз работающего защитный угол может быть снижен до 10°.

Аварийное освещение в цехах металлопокрытий оборудуется во всех помещениях с постоянным или длительным пребыванием в них работающих, а также на путях эвакуации людей в случае внезапного отключении рабочего освещения.

Таблица 7.4

Нормируемая освещенность гальванических цехов, расположенных в III поясе светового климата

| Наименование работ | Разряд зрительной работы по СНиП II-4–79 | Искусственное освещение | | Естественное освещение | | Смешанное освещение | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Освещённость, лк | | Коэффициент естественного освещения, % | | | |
| | | при комбинированном освещении | при общем освещении | при верхнем или верхнем и боковом | при боковом освещении | при верхнем или верхнем и боковом | при боковом освещении |
| Приготовление электролитов | IV | – | 150 | 2 | 0,5 | 1,2 | 0,3 |
| Шлифование, полирование | $II_в$ | 2000 | 500 | 7 | 2,5 | 4,2 | 1,5 |
| Химическая очистка поверхности | $IV_б$ | 500 | 200 | 4 | 1,5 | 2,4 | 0,9 |
| Фосфатирование, оксидирование | $IV_б$ | 500 | 200 | 4 | 1,5 | 2,4 | 0,9 |
| Галтовка | $V_в$ | – | 150 | 3 | 1 | 1,8 | 0,6 |
| Нанесение гальванических покрытий | $III_б$ | 1000 | 300 | 5 | 2 | 3 | 1,2 |

Аварийное освещение для продолжения работы должно обеспечивать освещённость не менее 10 % от норм для рабочего освещения на рабочих поверхностях, аварийное освещение для эвакуации людей должно обеспечивать освещённость не менее 0,5 лк на уровне пола.

## 8. 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. Для удаления вредных веществ и создания нормальных условий труда в цехах гальванопокрытий предусматривается приточно-вытяжная вентиляция. Гигиеническое назначение вентиляции состоит в том, чтобы удалять вредные выделения в местах их образования (местная вентиляция) или из всего объёма помещения (общеобменная вентиляция) и подавать в помещение чистый воздух. Помимо удаления вредных веществ вентиляция служит для удаления излишней влажности, нормализации температурного режима, а также обеспечения взрывопожаробезопасности.

### 8.1. Воздушная среда помещений гальванических цехов

Процессы химической и электрохимической обработки поверхности металлов осуществляются в ваннах, заполненных различными растворами минеральных кислот, щелочей, солей и их смесями. При этом выделяются аэрозоли серной и соляной кислот, хромового ангидрида, едких щелочей; окислы азота; пары плавиковой, азотной и соляной кислот; молекулярный, цианистый и фтористый водород; пары воды; аэрозоли и капли растворов со всеми содержащимися в них химикатами, в частности, растворимые соли никеля. В табл. 7.1 приведены предельно допустимые концентрации вредных газов и паров в атмосфере рабочей зоны промышленных предприятий.

Выделение вредных (опасных) веществ происходит различным образом: выделение водорода, кислорода, хлора и других газов, образующихся при электролизе; выделение газов, образующихся при химических реакциях; вынос растворов пузырьками водорода, кислорода и других газов; испарение воды.

***При электролизе*** выделяется главным образом водород. Объём выделяющегося водорода, приведённый к нормальным условиям, определяется по формуле:

$$Q_{н_2} = g_{н_2} \cdot E_S \cdot S \cdot d \cdot 0{,}01 \cdot BT_{н_2} \ , \qquad (8.1)$$

где $Q_{H_2}$ – объём выделяющегося водорода, л/ч; $g_{H_2}$ – электрохимический эквивалент водорода, $g_{H_2}$=0,418 л/(А·ч); $E_S$ – удельный расход электри-

чества, А·ч/(м$^2$·мкм); $S$ – площадь обрабатываемой поверхности за час, м$^2$/ч; $d$ – толщина покрытия, мкм; $BT_{H_2}$ – выход водорода по току, %.

Удельный расход электричества ($E_S$), рассчитанный при 100%-м выходе по току, при осаждении:

Cu из цианистых электролитов равен 3,75 А·ч/(м$^2$·мкм); Cu из кислых электролитов – 7,5 А·ч/(м$^2$·мкм); Ni – 7,95 А·ч/(м$^2$·мкм); Cr – 21,9 А·ч/(м$^2$·мкм); Zn – 5,82 А·ч/(м$^2$·мкм); Cd – 4,1 А·ч/(м$^2$·мкм); Pb – 2,92 А·ч/(м$^2$·мкм); Sn из кислых электролитов – 3,3 А·ч/(м$^2$·мкм); Sn из щелочных электролитов – 6,6 А·ч/(м$^2$·мкм); Ag – 2,61 А·ч/(м$^2$·мкм); Au – 2,63 А·ч/(м$^2$·мкм); Fe – 7,58 А·ч/(м$^2$·мкм); латуни (70 % меди + 30 % цинка) – 4,93 А·ч/(м$^2$·мкм).

**Пример 1.** В ванне на детали наносят покрытие хрома толщиной 10 мкм; часовая производительность 5 м$^2$. Определить объём выделяющегося водорода, если выход по току водорода равен 83%.

*Решение*. Находим объём водорода, приведённый к нормальным условиям, по формуле (7.1): $Q_{H_2}=0{,}418\cdot 21{,}9\cdot 5\cdot 10\cdot 0{,}01\cdot 83=380$ *л/ч*

Если ванна предназначена для обработки деталей, для которых площадь поверхности и толщина покрытий не задана (электрохимические процессы обезжиривания, полирования и т.п.), расчёт можно вести, исходя из силы тока $I$ (А), проходящего через ванну, и времени электролиза $\tau$ (ч). В этом случае максимальный объём водорода $Q_{H_2}$ (л/ч) определяется по формуле:

$$Q_{н_2} = g_{н_2} \cdot I \cdot \tau \cdot 0{,}01 \cdot BT_{н_2} \qquad (8.2)$$

Количество газов, выделяющихся ***при химической обработке*** металлов (травление меди в азотной кислоте, травление алюминия в щелочах, снятие цинкового, кадмиевого, хромового и других покрытий в соляной кислоте и т.д.), можно рассчитать по массе снимаемого металла:

$$m_g = m_{met} \cdot K \cdot \frac{M_g}{M_{met}}\ , \qquad (8.3)$$

где $m_g$ – количество выделяющихся газов, кг/ч; $m_{met}$ – масса снимаемого (стравливаемого) металла, кг/ч; $K$ – количество молей выделяемого газа на 1 моль снимаемого металла по формуле химической реакции; $M_g$ и $M_{met}$ – молярные массы выделяющегося газа и снимаемого металла соответственно, кг/кмоль.

**Пример 2.** Определить количество оксидов азота, которые выделяются при травлении медных деталей в азотной кислоте, если стравливается меди 0,127 кг/ч и химическая реакция происходит по схеме:

$$Cu + 4HNO_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$$

*Решение*. Учитывая, что $M_{NO_2}=46$ $M_{Cu}=63,5$ $K=2$, по формуле (7.3) рассчитываем количество оксидов азота

$$m_{NO_2}=0,127\cdot 2\cdot(46/63,5)=0,184 \text{ кг/ч}$$

***Вынос раствора*** в виде аэрозоли происходит за счёт его разбрызгивания при разрыве всплывающих на поверхность раствора пузырьков выделяющихся газов. Масса вредных веществ, выносимых в воздух (г/ч) определяется по формуле:

$$m = S \cdot q \cdot d \cdot c, \qquad (8.4)$$

где $S$ – площадь обрабатываемой поверхности за час (часовая производительность), м$^2$/ч; $q$ – удельный унос раствора, отнесенный к 1 м$^2$ площади обрабатываемой поверхности и к 1 мкм толщины покрытия, л/(м$^2$·мкм); $d$ – толщина покрытия, мкм; $c$ – концентрация вещества в растворе, г/л.

Удельный унос раствора в л/(м$^2$·мкм) при декоративном и твёрдом хромировании равен 0,05; при молочном хромировании 0,1 (табл. 6.8); при нанесении покрытий в цианистых электролитах 0,015; при никелировании, кадмировании, меднении, свинцевании, лужении, цинковании в кислых электролитах 0÷0,005 л/(м$^2$·мкм), а в щелочных электролитах 0,01÷0,02 л/м$^2$ без учёта толщины покрытия (верхний предел при нагревании и перемешивании электролитов).

**Пример 3.** На участке хромирования в стационарных ваннах на подвесках наносят на детали покрытие хрома толщиной 10 мкм; часовая производительность 5 м$^2$. Определить количество хромового ангидрида, которое может быть вынесено в атмосферу, если концентрация его в растворе 300 г/л.

*Решение*. Количество хромового ангидрида рассчитываем по формуле (7.4):

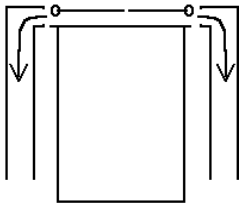
$$m = 5\cdot 0,05\cdot 10\cdot 300 = 750 \text{ г/ч}$$

***При парообразовании*** происходит процесс массопереноса от жидкости к окружающему воздуху. Испаряются, как правило, вода, аммиак, хлористый водород, азотная кислота, органические компоненты и другие вещества. Количество паров испаряющегося вещества (кг/ч) определяется по формуле:

$$m = (40{,}35 + 30{,}75 \cdot v) \cdot p \cdot \sqrt{M} \cdot S \cdot 10^{-6}, \qquad (8.5)$$

где $v$ – скорость движения воздуха над зеркалом раствора, м/с; $p$ – упругость паров жидкости, Па; $M$ – молярная масса испаряющегося вещества, кг/кмоль; $S$ – площадь поверхности испарения, м$^2$.

**Пример 4.** Определить, сколько испаряется хлористого водорода при травлении деталей в соляной кислоте, содержащей 37 % HCl при температуре 25°С, из ванны размерами 15х3 м, снабженной бортовыми отсосами и откидывающимися козырьками. Расстояние от поверхности жидкости до козырьков 0,4 м; от ванны отсасывается воздуха 43200 м$^3$/ч; $M_{HCl} = 36{,}46$; $p_{HCl} = 25170$ *Па*.



*Решение*. Скорость движения воздуха над жидкостью равна часовому объёму отсасываемого воздуха, делённому на площадь щелей двух бортовых отсосов: $v = 43200:(2 \cdot 0{,}4 \cdot 15) = 3600$ *м/ч* $= 1$ *м/с*.
Масса испаряющегося хлористого водорода рассчитываем по формуле (7.5):

$$m = (40{,}35 + 30{,}75 \cdot 1) \cdot 25170 \cdot \sqrt{36{,}46} \cdot 15 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 486 \ \ кг/ч$$

При технологических процессах, связанных с капельным уносом (например, хромирование, травление алюминия), происходит увеличение массы паров в воздухе, отсасываемом вытяжной вентиляцией, по сравнению с массой паров, испаряющихся со спокойного зеркала ванны. Это связано с увеличением площади поверхности испарения в результате появления пузырьков на поверхности раствора и наличия капель в отсасываемом воздухе, а также освобождения паров из объёма пузырьков при их разрыве. Максимальное увеличение площади поверхности испарения может быть оценено коэффициентом 1,45.

## 8.2. Технологические мероприятия, уменьшающие выделение вредных веществ

В гальванических цехах технологическими мероприятиями, благоприятно влияющими на состояние воздушной среды, являются: применение безвредных или менее вредных техпроцессов; замена вредных растворов и электролитов менее вредными; капсюлизация оборудования и его герметизация; применение укрытий, крышек, козырьков; укрытие поверхности жидкости в ваннах поплавками, пеной; применение оборудования со встроенными местными отсосами; применение по возможности меньших значений плотности тока и температуры раствора без снижения производительности процесса и качества покрытия; приготовление и корректирование растворов (в особенности высокотоксичных) централизованным способом в обособленных помещениях с перекачкой готовых растворов к ваннам насосами по трубопроводам; сигнализация при неисправности системы отсосов, автоматическое блокирование оборудования и сантехустройств; автоматическое регулирование режимов (температуры, плотности тока, кислотности растворов, постоянства уровня раствора, времени электролиза и т.п.).

Известны многочисленные примеры применения: электролитов и растворов, заменяющих цианистые и другие высокотоксичные растворы; технологических процессов нанесения блестящих покрытий, исключающих последующее полирование; проточных и струйных способов обработки, уменьшающих число ванн с вредными выбросами за счёт резкого повышения производительности процесса; альтернативных технологических процессов, заменяющих химические и электрохимические процессы (вакуумная, термодиффузионная, плазменная и др. виды металлизации) и резко уменьшающих выделение вредных веществ, а также примеры других рациональных технологических мероприятий.

**Применение поплавков.** Укрытие поверхности раствора пластмассовыми поплавками (шариками, двояковыпуклыми линзами, квадратными пластинами с выступами по центу с обоих сторон) значительно снижает унос растворов и выделение вредных веществ, а также снижаются энергозатраты (уменьшается расход пара, воды или электроэнергии) у ванн с нагретым раствором. Расход отсасываемого воздуха можно уменьшить на 25% для обычных бортовых и на 10% для опрокинутых отсосов, расход химикатов – на 10-15%.

Поплавки делают диаметром 25-30 мм или стороной квадрата 20-30 мм с учётом того, чтобы они не попадали в полости обрабатываемых деталей. Их не применяют, когда обрабатывают мелкие детали в корзинах, так как при этом вместе с деталями уносятся и поплавки.

При интенсивном нагреве, перемешивании раствора, часто повторяющихся погружениях и извлечениях деталей поплавки скапливаются у стенок ванны и оставляют открытой её середину. В этих случаях следует применять двухслойную засыпку поплавков. Для растворов с температурой до 75 °С рекомендуются поплавки из пенополистирола, для растворов с температурой 75-100 °С – полиэтиленовые или полипропиленовые поплавки.

**Применение пенообразователей.** Для уменьшения выделения вредных веществ с поверхности ванн в состав растворов вводят различные добавки: ингибиторы кислотной коррозии (уротропин, КПИ и др.), присадки, поверхностно-активные вещества (ПАВ), хромин, хромоксан и другие вещества.

Пенозащитный слой рекомендуется применять при кислотном травлении чёрных и цветных металлов, электрохимическом полировании, щелочном травлении алюминия и его сплавов, сернокислом анодировании алюминия и его сплавов, анодном снятии олова в щелочном растворе, хромировании.

При защитно-декоративном хромировании в состав электролита вводят хромин в количестве 0,5-2,0 г/л, при нанесении толстых хромовых покрытий толщиной до 100 мкм (кроме проточного хромирования и покрытия титановых сплавов) в состав электролита можно вводить 1,0-2,0 г/л хромоксана – эти добавки в десятки раз снижают выделение хромового ангидрида.

При выборе пенообразователей необходимо учесть их влияние на канализационные стоки. Например, наличие даже малого количества пенообразователей ОП-10, ОП-7, ОС-20, ДТ-7 в сточных водах неприемлемо вследствие губительного их воздействия на живые организмы как в установках биологической очистки, так и в природных водоёмах.

Применение пенообразователей требует соблюдения мер предосторожности. Например, при использовании слоя пены в ваннах хромирования и электрохимического обезжиривания нельзя снимать подвески со штанги, находящейся под током, так как в слое и под слоем пены накапливается водород, а при размыкании электрической цепи образуются

искры, вызывающие сильные хлопки взрывного характера, выплескивающие из ванны раствор. Поэтому, сначала необходимо отключить ток, а затем снимать подвески со штанг.

Покрытие поверхности раствора пеной позволяет уменьшить количество отсасываемого воздуха на 50%, а расход химикатов на 10-15%.

**Укрытие ванн.** Согласно санитарным правилам водные поверхности с температурой воды выше 30 °С в рабочих помещениях подлежат полному укрытию с устройством местных отсосов.

Укрытие ванн локализует распространение вредных веществ и позволяет улавливать их бортовыми отсосами с большей эффективностью. Устройство укрытия ванн организуют, как правило, при обработке крупных деталей: на длинных бортах ванны устанавливают шарнирно закреплённые створки с противовесами, а для погружения детали в ванну предусматривают открывание створок с помощью системы рычагов. При больших габаритных размерах открывание и закрывание ванн должно быть механизировано. Выделяющиеся вредные вещества удаляют через двубортные (двусторонние) отсосы.

Створки могут быть как жёсткими, так и гибкими. Жёсткие створки и крышки изготавливают из винипластового листа, закреплённого на листе из коррозионностойкой стали. Гибкие створки изготавливают из химически стойких материалов (например, полихлорвиниловой ткани) в редких случаях из ионообменного тканевого полотна. Полотно перемещается по направляющим, установленным своими концами на бортовых отсосах вентиляции.

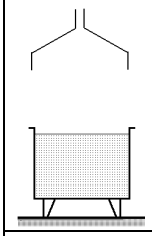
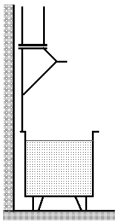
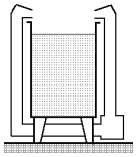
Когда полное укрытие мешает технологическому процессу, применяют неполное укрытие с помощью откидывающихся козырьков. Откидывающимися козырьками оборудуются ванны с цианистыми растворами, ванны хромирования, ванны с длительным технологическим процессом, а также с высокой температурой растворов.

### 8.3. Местная вентиляция

В гальванических цехах применяют четыре типа отсасывающих устройств: вытяжной шкаф, вытяжной колпак (зонт), вытяжные панели и бортовые отсосы. Характеристика отсасывающих устройств приведена в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Характеристика отсасывающих устройств, используемых в гальванических цехах

| Тип устройства | Достоинства | Недостатки | Области применения |
|---|---|---|---|
| Вытяжной шкаф | Хорошо изолирует помещения от вредных выделений из оборудования, стоящего внутри шкафа | Затруднённость доступа к оборудованию. При работе над оборудованием человек находится в зоне вредных выделений | При травлении цветных металлов |
| Вытяжной колпак (зонт)  | Простота изготовления | При работе над оборудованием человек находится в струе вредных веществ. Расход воздуха очень велик, так как трудно избежать непроизводительного подсасывания воздуха с боков | При работе наливных колоколов с электролитами с большим газовыделением или при травлении наростов в колоколах |
| Вытяжная панель  | Мало мешает работе, особенно если оборудование стоит у стены и панель не мешает проходу. Хорошо улавливает выделения легких газов: водяного пара, $H_2$ и т.д. | Требует значительного расхода воздуха ($м^3/м^2$ площади панели): если панель примыкает к стене или высокой перегородке – 3200, если панель удалена от стены – 5000-7000. Неудобен её монтаж при свободно стоящем оборудовании | На промывочных ваннах с горячей водой при их одностороннем обслуживании. В гальванических цехах применяется редко |
| Бортовой отсос  | Хорошо удаляет брызги и тяжёлые газы, а также в большинстве случаев лёгкие газы. Рабочий, наклоняющийся над оборудованием, находится вне зоны вредных выделений | Увеличивает ширину оборудования, несколько затрудняя доступ к противоположному (от рабочего) краю ванны | На всех видах гальванического оборудования, включая даже некоторые типы вращающихся колоколов и барабанов |

Принцип работы наиболее универсального для гальванического оборудования местного вентиляционного отсоса – бортового, состоит в том, что всасываемый с большой скоростью через узкую заборную щель отсоса воздух образует над зеркалом раствора сильную горизонтальную струю ("факел"), которая сбивает с вертикального пути выбрасываемые из раствора газы и капли и этим заставляет основную массу капель упасть обратно в ванну, а газы и остальные капли увлекаются в отсос.

"Факел" бортового отсоса быстро ослабевает с удалением от заборной щели, поэтому односторонний отсос делают только при ширине ванны не более 600 мм. На более широких ваннах делают отсосы с двух противоположных сторон ванны.

Не следует в погоне за "улучшением" вентиляции делать отсосы с трёх или четырёх сторон ванны; это только ухудшает вентиляцию, ибо в углах, где встречаются "факелы", идущие под углом один к другому, образуются завихрения, из-за которых значительная часть зеркала раствора вообще не вентилируется.

В зависимости от типа ванн применяют местные отсосы с щелью всасывания в горизонтальной плоскости (опрокинутые) (рис. 8.1, *а, б, в, г*) и в вертикальной плоскости (простые или обычные) (рис. 8.1, *д, е*). Кроме того используется передувка (рис. 8.1, *в, г*).

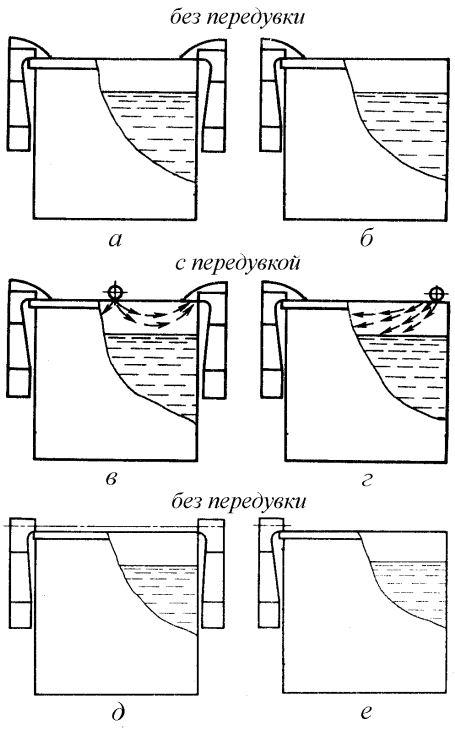



Рис. 8.1. Схемы бортовых отсосов: опрокинутые: а, в – двубортные; б, г – однобортные; обычные: д – двубортный; е – однобортный

Бортовые отсосы располагают по длинным сторонам ванн.

Щель бортового отсоса обязательно должна быть расположена вплотную к краю ванны и ниже катодных и анодных штанг, чтобы штанги не забрызгивало раствором. Анодные пластины должны висеть ниже щели бортового отсоса, чтобы не мешать проходу "факела"; на пути "факела" могут находиться только подвесные крюки анодов и подвесочных приспособлений.

Опрокинутые бортовые отсосы уменьшают энергетические затраты на вентиляцию за счёт образования над зеркалом раствора более благоприятной зоны всасывания. Однако такие отсосы занимают внутри ванны по 100 мм ширины зеркала ванны с каждой стороны, что заставляет непроизводительно увеличить ширину и ёмкость ванны. Опрокинутые отсосы в настоящее время выходят из употребления.

Если две ванны с местным отсосом примыкают друг к другу, то между ними устанавливают двусторонний бортовой отсос (рис. 8.2). Он имеет две противоположно направленные всасывающие щели и представляет собой два совмещённых в одном корпусе 4 односторонних бортовых отсоса 1, разделённых перегородкой 3. Сверху бортовой отсос накрыт двускатной крышкой 2 для стекания растворов в ванны. В каждом из всасывающих вертикальных каналов устанавливаются шиберы 5, которые управляются независимо друг от друга.

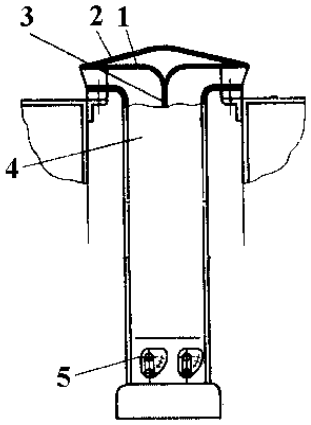



Рис. 8.2. Двусторонний бортовой отсос: 1 – односторонний бортовой отсос, 2 – двускатная крышка, 3 – перегородка, 4 – корпус, 5 – шиберы

Материалом для изготовления бортовых отсосов служат: для ванн с неагрессивными растворами (щелочными, цианистыми и т.п.) – конструкционная углеродистая сталь толщиной 1–2 мм; для ванн с агрессивными растворами кислот – винипласт толщиной 3-5 мм или полипропилен.

Количество воздуха ($м^3$/ч), удаляемого бортовыми отсосами без передувки с щелью всасывания в горизонтальной или вертикальной плоскости, следует определять по формуле (8.6):

$$L = 1400 \cdot \sqrt[3]{\left(0{,}53 \cdot \frac{B \cdot \ell}{B + \ell} + H\right)} \cdot B \cdot \ell \cdot K_{\Delta t} \cdot K_T \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4,$$

где $B$ – внутренняя ширина ванны, м; $\ell$ – внутренняя длина ванны, м; $H$ – расстояние от зеркала раствора до верхнего края борта ванны, м (для типовых серийных ванн $H$ = 0,2 м); $K_{\Delta t}$– коэффициент, учитывающий разность температур раствора и воздуха в помещении (табл. 8.2); $K_T$ – коэффициент, учитывающий токсичность и интенсивность выделения вредных веществ (табл. 8.3); $K_1$ – коэффициент, учитывающий тип отсоса (для двубортного $К_1$=1, для однобортного $К_1$=1,8); $K_2$ – коэффициент, учитывающий воздушное перемешивание раствора (без перемешивания $К_2$=1, при наличии барботажа $К_2$=1,2); $K_3$ – коэффициент, учитывающий укрытие зеркала раствора поплавками (в отсутствии укрытия $К_3$=1, при укрытии шариками, линзами и т.п. $К_3$=0,75); $K_4$ – коэффициент, учитывающий укрытие зеркала раствора пенным слоем путём введения добавок поверхностно-активных веществ (в отсутствии пены $К_4$=1, при укрытии пенным слоем $К_4$=0,5).

Таблица 8.2

Коэффициент учёта разности температур раствора и воздуха в помещении

| Разность температур раствора и воздуха, °С | $K_{\Delta t}$ | Разность температур раствора и воздуха, °С | $K_{\Delta t}$ | Разность температур раствора и воздуха, °С | $K_{\Delta t}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 1,0 | 30 | 1,47 | 60 | 1,94 |
| 5 | 1,03 | 35 | 1,55 | 65 | 2,02 |
| 10 | 1,16 | 40 | 1,63 | 70 | 2,10 |
| 15 | 1,24 | 45 | 1,71 | 75 | 2,18 |
| 20 | 1,31 | 50 | 1,79 | 80 | 2,26 |
| 25 | 1,39 | 55 | 1,86 | | |

Таблица 8.3

Коэффициент учёта токсичности и интенсивности выделения вредных веществ

| Группа ванн (табл. 8.4) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $K_T$ | 2 | 1,6 | 1,25 | 1 | 0,5 | 0 |

Рассмотрим ***пример расчёта*** количества отсасываемого воздуха для рассчитанной в § 6.2 линии цинкования.

Так как ширина ванн составляет более 600 мм, то на рассматриваемой линии устанавливаются двубортные бортовые отсосы на 2-х ваннах электрохимического обезжиривания, ванне активации, 4-х ваннах цинкования, ванне осветления и на ванне хроматирования цинкового покрытия.

Количество воздуха, удаляемого бортовыми отсосами без передувки с щелью всасывания в вертикальной плоскости, определим по формуле 8.6:

$B=0,71$ *м*, $\ell=1,25$ *м*, $H=0,2$ *м*

от 2-х ваннах электрохимического обезжиривания:

$K_{\Delta t}=1,79$, *группа ванн 2*, $K_T=1,6$, $K_1=1$, $K_2=1$, $K_3=1$, $K_4=1$

$$L = 2 \cdot 1400 \cdot \sqrt[3]{\left(0,53 \cdot \frac{0,71 \cdot 1,25}{0,71+1,25} + 0,2\right)} \cdot 0,71 \cdot 1,25 \cdot 1,79 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 5409 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

от ванны активации стали:

$K_{\Delta t}=1,0$, *группа ванн 5*, $K_T=0,5$, $K_1=1$, $K_2=1$, $K_3=1$, $K_4=1$

$$L = 1 \cdot 1400 \cdot \sqrt[3]{\left(0,53 \cdot \frac{0,71 \cdot 1,25}{0,71+1,25} + 0,2\right)} \cdot 0,71 \cdot 1,25 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 472 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

от 4-х ванн цинкования:

$K_{\Delta t}=1,0$, *группа ванн 5*, $K_T=0,5$, $K_1=1$, $K_2=1$, $K_3=1$, $K_4=1$

$$L = 4 \cdot 1400 \cdot \sqrt[3]{\left(0,53 \cdot \frac{0,71 \cdot 1,25}{0,71+1,25} + 0,2\right)} \cdot 0,71 \cdot 1,25 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1888 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

от ванны осветления цинкового покрытия:

$K_{\Delta t}=1,0$, *группа ванн 5*, $K_T=0,5$, $K_1=1$, $K_2=1$, $K_3=1$, $K_4=1$

$$L = 1 \cdot 1400 \cdot \sqrt[3]{\left(0,53 \cdot \frac{0,71 \cdot 1,25}{0,71+1,25} + 0,2\right)} \cdot 0,71 \cdot 1,25 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 472 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

от ванны хроматирования цинкового покрытия:

$K_{\Delta t}=1,0$, *группа ванн 5*, $K_T=0,5$, $K_1=1$, $K_2=1$, $K_3=1$, $K_4=1$

$$L = 1 \cdot 1400 \cdot \sqrt[3]{\left(0,53 \cdot \frac{0,71 \cdot 1,25}{0,71+1,25} + 0,2\right)} \cdot 0,71 \cdot 1,25 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 472 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Таким образом, суммарное количество воздуха, отсасываемого от рассматриваемой линии цинкования, составляет: *5409+472+1888+472+472 = 8713 м$^3$/ч.*

При проектировании и организации местной вентиляции необходимо учитывать следующие моменты:

- неравномерность отсасывания воздуха бортовыми отсосами по длине ванны не должна превышать 10%;
- объём удаляемого воздуха от круглых ванн кольцевыми отсосами определяется как для квадратных ванн со стороной, равной диаметру круглой, умноженному на 0,8;
- вытяжные системы, обслуживающие ванны с цианистыми растворами, не должны быть совмещены с вентиляцией от кислых растворов и обычно выполняются в виде отдельных систем;
- вытяжные системы, обслуживающие процессы обезжиривания органическими растворителями, должны быть самостоятельными и иметь взрывобезопасное исполнение; все металлические воздуховоды и оборудование следует заземлять;
- соединения элементов бортовых отсосов должны быть разъёмными, чтобы облегчить возможность их периодической чистки от осаждающихся солей, а при необходимости и их замены;
- магистральные воздуховоды (кроме воздуховодов от местных отсосов ванн с органическими растворителями) допускается прокладывать в нижележащем техническом этаже (подвале), а при его отсутствии – под обслуживающими ваннами (линиями) или в каналах-воздуховодах, прокладываемых под полом;
- каналы-воздуховоды, прокладываемые под полом, следует выполнять из бетона или кирпича, внутренняя поверхность каналов должна иметь противокоррозионную защиту, на всех поворотах, ответвлениях и через 30 м на прямых участках необходимо предусматривать смотровые люки диаметром 700 мм;
- для обеспечения наименьшего сопротивления протеканию воздуха длина воздуховодов должна быть минимальной; они не должны иметь неоправданных изгибов и колен; отводы необходимо делать с наиболее возможным радиусом; в коленах желательно устанавливать направляющие лопатки;
- каналы-воздуховоды прокладываются с уклоном 0,005-0,01 в сторону дренажных устройств;
- у вентилятора со стороны нагнетания необходимо предусмотреть

хорошо развитый диффузор с углом раскрытия, близким к 17°;

- перед вентиляторами вытяжных установок в каналах-воздуховодах следует предусматривать приямки с люками для сбора конденсата;
- вентиляторы должны применяться в антикоррозионном исполнении (из алюминиевых сплавов, коррозионностойкой стали, титановых сплавов и полимерных материалов);
- местная вытяжная вентиляция в смотровых и загрузочных отверстиях емкостей в помещении очистки сточных вод должна обеспечивать скорость движения воздуха (м/с) при выделении: аэрозолей кислот – 1; аммиака – 0,8; хлора – 1,2; паров воды – 0,3; при барботировании воды – 0,6; цианистых стоков – 3. Независимо от выделяемого вредного вещества от одной ёмкости следует отсасывать не менее 300 $м^3$/ч воздуха.

### 8.4. Общеобменная вентиляция помещений гальванических цехов

Вследствие отсутствия местных отсосов у некоторых ванн, а также недостаточной работы имеющихся отсосов в атмосферу помещений гальванических цехов постоянно выделяются вредные вещества, водяной пар и избыточное тепло. Кроме того, поднятые после обработки детали находятся вне зоны действия местных отсосов и с них вредные вещества выделяются в окружающий воздух помещений. Для избежания накапливания вредных веществ выше ПДК и поддержания влажности и температуры окружающего воздуха в необходимых пределах устраивают общеобменную вентиляцию. Особенно важна роль общеобменной вентиляции в нерабочее время при отсутствии укрытия технологических ванн – в этом случае общеобменная вентиляция удаляет воздух из верхней зоны помещения.

Естественная вытяжка из верхней зоны помещений должна обеспечивать разбавление скапливающегося там водорода до 5% от нижнего предела взрываемости.

Для компенсации удаляемого местными отсосами воздуха предусматривают механический приток, при этом должен обеспечиваться не менее чем трёхкратный воздухообмен в час. Приточный воздух следует подавать в верхнюю зону помещения не ниже 2,5-3 м от пола равномерно через воздухораспределители, обеспечивающие скорость движения воздуха в рабочей зоне не более 0,3 м/с. Оптимальной является рассеянная подача приточного воздуха под перекрытие. Для рассеянной подачи

приточного воздуха применяют перфорированные воздуховоды круглого или прямоугольного сечения, перфорированные потолочные панели, решётки, щелевые потолки и т.п. Скорость истечения приточного воздуха на входе в рабочую зону во избежание нарушения нормальной работы бортовых отсосов не должны превышать 0,3 м/с.

На участке химической очистки поверхности, где доминирующим вредным веществом является влага, рекомендуется 65-70 % приточного воздуха подавать в нижнюю зону, 35-30 % – в верхнюю зону под перекрытие. Воздух, подаваемый в верхнюю зону, подогревают до 50 °С и выпускают со скоростью 15-18 м/с, обеспечивая интенсивное перемещение для подсушивания строительных конструкций.

В тёплое время года допускается естественный приток через проёмы в наружных ограждениях на высоте не менее 4 м от пола. В холодное время года подаваемый воздух необходимо подогревать до температуры не ниже 18 °С.

При смежном расположении гальванических и травильных отделений с помещениями других производств, не имеющими вредных выделений и пыли, приточный воздух следует подавать в количестве 90-95% от расчётного объёма отсасываемого воздуха. Остальной воздух должен поступать из смежных помещений через дверные проёмы, для чего в этих помещениях предусматривают приток воздуха в количестве, достаточном для компенсации перетока воздуха в гальваническое отделение.

Общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию следует проектировать и для помещений, где расположены источники постоянного тока, для ассимиляции избытков теплоты от электрооборудования в течение круглого года и от солнечной радиации в тёплый период года.

В блоке помещений для работы с цианистыми солями должны быть предусмотрены две отдельные общеобменные вытяжки: одна для комнаты хранения и растворения или расфасовки цианистых солей, другая для комнаты спецодежды, душевой кабины и коридора.

В помещениях для оборудования очистки сточных вод вытяжную вентиляцию следует выполнять с местными отсосами, а также общеобменную с забором воздуха из верхней и нижней зон со следующей кратностью воздухообмена: в помещении приготовления раствора извести 4 объёма в час, при выделении сернистого газа 8 объёмов в час, в насосной станции загрязненных вод и в помещении для обезвреживания цианистых стоков 10 объёмов в час.

### 8.5. Очистка отсасываемого воздуха от вредных веществ

Очистку отсасываемого воздуха от вредных веществ осуществляют различными способами. Очистку воздуха от пыли осуществляют в пылеуловителях различных конструкций. Для очистки воздуха от аэрозолей, паров и газов вредных веществ применяют разного рода аппараты – волокнистые фильтры, ионитовые фильтры, абсорберы, адсорберы, конденсаторы и др.

При выборе очистного оборудования учитывают эффективность его очистки, капитальные затраты, эксплуатационные расходы, надёжность работы, удобство обслуживания, лёгкость контроля, доступность ремонта, занимаемую площадь, расходы электроэнергии, воды и реагентов.

Бесперебойность очистки выбросов достигается установкой в вытяжной системе не менее двух очистных аппаратов, причём при временном отключении одного из них остальные должны обеспечивать необходимую пропускную способность и эффективность. Количество вредных веществ, выделяющихся от ванн, можно рассчитать по формулам (8.1)–(8.5) или определить по данным, приведённым в табл. 8.4. В табл. 8.4 представлены также рекомендации по выбору метода и аппарата очистки вентиляционных выбросов.

Для вредных веществ, остающихся в выбросах при неполной очистке, предусматривают их рассеивание в атмосферном воздухе так, чтобы концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе населённых мест не превышали максимальные разовые предельно допустимые значения, либо (при отсутствии этих значений) среднесуточных концентраций. При незначительном валовом количестве вредных веществ или малой концентрации их в выбрасываемом воздухе допускается не предусматривать его очистку, если путём рассеивания этих веществ в атмосферном воздухе при наиболее неблагоприятных для данной местности условиях не будут превышены их допустимые концентрации.

Таблица 8.4

Удельное количество вредных веществ, удаляемых местным отсосом от гальванических ванн, группы ванн и рекомендации по очистке выбросов

| Технологический процесс нанесения гальванических покрытий | Определяющее вещество | Максимальное количество*, мг/(м$^2$·с) | Группа ванн | Способ очистки | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Метод | Аппараты |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Электрохимическая обработка металлов в растворах, содержащих хромовую кислоту в концентрации 150-350 г/л, при силе тока более 1000 А (хромирование, анодное активирование, снятие меди и др.) | Хромовый ангидрид | 10 | 1 | 2 | 1; 6 |
| Электрохимическая обработка металлов в растворах, содержащих хромовую кислоту в концентрации 30-60 г/л (электрополирование алюминия, электрополирование стали и др.) | Хромовый ангидрид | 2 | 2 | 2 | 1; 6 |
| Электрохимическая обработка металлов в растворах, содержащих хромовую кислоту в концентрации 30-100 г/л, при силе тока менее 500 А (анодирование алюминия и магниевых сплавов и др.), а также химическое оксидирование алюминия и магния | Хромовый ангидрид | 1 | 3 | 2 | 1; 6 |
| Химическая обработка стали в растворах хромовой кислоты и её солей при $t \geq 50$ °С (пассивирование, травление, снятие оксидной пленки, наполнение в хромпике и др.) | Хромовый ангидрид | 0,0055 | 4 | 2 | 1; 6 |
| Химическая обработка металлов в растворах хромовой кислоты и её солей при $t \leq 50$ °С (осветление, пассивация и др.) | Хромовый ангидрид | 0** | 5*** | – | – |
| Электрохимическая обработка в растворах щелочи (анодное снятие шлама, обезжиривание, оловянирование, цинкование в щелочных электролитах, снятие олова, оксидирование меди, снятие хрома и др.) | Щелочь | 11 | 2 | 2 | 2; 6 |

Продолжение табл. 8.4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| Химическая обработка металлов в растворах щелочи (оксидирование стали, химическое полирование алюминия, рыхление окалины на титане, травление алюминия, магния и их сплавов и др.) при температуре раствора: > 100 °С<br>< 100 °С | <br>Щелочь<br>Щелочь | <br>55<br>55 | <br>2<br>3 | <br>2<br>2 | <br>2; 6<br>2; 6 |
| Химическая обработка металлов, кроме алюминия и магния, в растворах щелочи (химическое обезжиривание, нейтрализация и др.) при температуре раствора: > 50 °С<br>< 50 °С | <br>Щелочь<br>Щелочь | <br>0**<br>0** | <br>4<br>5*** | <br>–<br>– | <br>–<br>– |
| Кадмирование, серебрение, золочение и электрохимическая активация (декапирование) в цианистых растворах | Цианистый водород | 5,5 | 2 | 1 | 4 |
| Цинкование, меднение, латунирование, химическая активация (декапирование), амальгамирование в цианистых растворах | Цианистый водород | 1,5 | 2 | 1 | 4 |
| Химическая обработка металлов в растворах, содержащих фтористоводородную кислоту и её соли | Фтористый водород | 20 | 2 | 1 | 3 |
| Химическая обработка металлов в концентрированных холодных и разбавленных нагретых растворах, содержащих соляную кислоту (травление, снятие шлама и др.) | Хлористый водород | 80 | 3 | 1 | 3 |
| Химическая обработка металлов, кроме снятия цинкового и кадмиевого покрытия, в холодных растворах, содержащих соляную кислоту в концентрации до 200 г/л (травление, активация и др.) | Хлористый водород | 0,3 | 5*** | 1 | 3 |
| Электрохимическая обработка металлов в растворах, содержащих серную кислоту в концентрации 150-350 г/л, а также химическая обработка в концентрированных холодных и разбавленных нагретых растворах (анодирование, электрополирование, травление, снятие никеля, серебра, гидридная обработка титана и др.) | Серная кислота | 7 | 2 | 2 | 1; 6 |

Окончание табл. 8.4

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| Меднение, оловянирование, цинкование и кадмирование в сернокислых растворах при $t \le 50$ °С, а также химическая активация | Серная кислота | 0** | 5*** | – | – |
| Химическая обработка металлов в концентрированных холодных и разбавленных нагретых растворах, содержащих ортофосфорную кислоту (фосфатирование и др.) | Фосфорная кислота | 0,6 | 3 | 2 | 1; 6 |
| Химическая обработка металлов в концентрированных нагретых растворах и электрохимическая обработка в концентрированных холодных растворах, содержащих ортофосфорную кислоту (химическое полирование алюминия, электрополирование стали, меди и др.) | Фосфорная кислота | 5 | 2 | 2 | 1; 6 |
| Химическая обработка металлов в разбавленных растворах, содержащих азотную кислоту (осветление алюминия, химическое снятие никеля, травление, активация меди, пассивация и др.) при концентрации раствора: > 100 г/л<br>< 100 г/л | Азотная кислота и оксиды азота<br>–"– | 3<br>0** | 3<br>5*** | 1<br>– | 5<br>– |
| Никелирование в хлоридных растворах при плотности тока свыше 1 А/дм$^2$ | Растворимые соли никеля | 0,15 | 1 | 2 | 1; 6 |
| Никелирование в сульфатных растворах при плотности тока свыше 1 А/дм$^2$ | Растворимые соли никеля | 0,03 | 2 | 2 | 1; 6 |
| Кадмирование и оловянирование в кислых электролитах с добавкой фенола | Фенол | 0** | 4 | – | – |
| Крашение в анилиновом красителе | Анилин | 0** | 4 | – | – |
| Промывка в горячей воде | Вода | 0** | 5 | – | – |
| Безвредные технологические процессы при наличии неприятных запахов, например, аммиака, клея и др. | – | 0** | 4-5 | – | – |

Обозначения. Методы очистки: 1 – абсорбционный; 2 – фильтрация. Типы аппаратов очистки: 1 – фильтры-туманоуловители ФВГ-Т (корпус из титана); 2 – фильтры-туманоуловители ФВГ-С (корпус из стали); 3 – фильтры-туманоуловители ФВГ-Т с орошаемой приставкой; 4 – фильтры-

туманоуловители ФВГ-С-Ц; 5 – насадочный типа ВЦНИИОТ; 6 – сепараторы, встраиваемые в бортовой отсос.

Примечания: * Значения максимального количества вредных веществ, удаляемых местным отсосом, приведены для нормальной загрузки ванн для расчёта максимальных разовых концентраций. Для определения среднесуточных значений (для аэрозоля) следует учитывать коэффициент загрузки оборудования. При необходимости очистки вентиляционных выбросов и выборе очистных устройств следует учитывать выпадение аэрозоля на внутренних стенках отсосов и воздуховодов. Количество осевших вредных веществ определяется по графику, приведенному на рис. 8.3.

** Количество выделяющихся вредных веществ незначительно и при расчёте вентиляционных выбросов может не учитываться.

*** Местный отсос не требуется. Только при наличии воздушного перемешивания раствора местный отсос необходим ($K_T$=*0,5*).

Для ***улавливания пыли*** из воздуха, отсасываемого из песко-, металлоструйных и дробеструйных камер, применяют двухступенчатую установку из циклона ЦН-11 и циклона с водяной плёнкой ЦВН. Пыль, содержащаяся в воздухе, отсасываемом от шлифовальных и полировальных станков, пожароопасна, поэтому предпочтителен мокрый способ очистки от неё воздуха. Запылённый воздух поступает в цилиндрический резервуар, где он, проходя по спирали вдоль вала, омывается водой. В результате промывки воздуха водой, а также осаждения пыли на поверхности воды и смоченных стенках резервуара происходит очистка воздуха от пыли. Пыль оседает в нижней части аппарата, откуда удаляется ручным, механическим или гидравлическим способами. Желательно, чтобы очистные устройства располагались как можно ближе к шлифовальным и полировальным станкам.

Для ***очистки отсасываемого воздуха от аэрозолей*** используют фильтры различной конструкции. Фильтрующие перегородки, через которые происходит фильтрация воздуха, весьма разнообразны по своей структуре, но в основном они состоят из волокнистых или зернистых элементов – тканевых материалов из природных, синтетических или минеральных волокон; нетканых волокнистых материалов (войлоки, клееные и иглопробивные материалы, бумага, картон, волокнистые маты); ячеистых листов (губчатая резина, пенополиуретан, мембранные фильтры).

Для очистки отсасываемого воздуха, содержащего туман, аэрозоль и брызги электролита, используют волокнистые фильтры типа ФВГ.

Внутри корпуса фильтра размещена кассета с фильтрующим материалом, наложенным на каркас и прижатым прижимной решёткой из пруткового материала. Кассеты изготовлены в виде вертикально расположенных складок. Фильтр работает в режиме накопления уловленного продукта на поверхности фильтрующего материала с частичным стоком жидкости. По достижении максимального гидравлического сопротивления фильтр подвергается периодической промывке (обычно 1-2 раза в месяц в зависимости от производительности гальванического оборудования) с помощью переносной форсунки, вводимой через монтажный люк. В качестве фильтрующего материала обычно используют иглопробивной войлок, состоящий из волокон диаметром 70 мкм. Степень очистки воздуха от аэрозоля электролита хромирования не ниже 96-99 %. При использовании в качестве фильтрующего материала нетканого иглопробивного волокнистого лавсана для очистки воздуха, отсасываемого от травильных сернокислых ванн, достигается степень очистки 90-99 %.

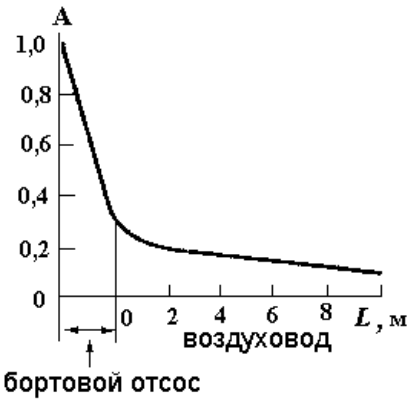



Рис. 8.3. График изменения концентраций аэрозолей вредных веществ в удаляемом воздухе по пути его движения в воздуховоде: А – доля вредных веществ, оставшихся в удаляемом воздухе, L – длина пути в воздуховоде от бортового отсоса

Волокнистые фильтры типа ФВГ устанавливают, как правило, на значительном расстоянии от ванн и чаще всего после вентилятора. Однако, на пути от борта ванны до вентилятора часть вредных веществ, выделяющихся в виде аэрозолей, тумана и брызг, оседает на дно и стенки воздуховода. Долю оставшихся аэрозолей вредных веществ можно определять по графику, приведенному на рис. 8.3. Со временем воздуховод засоряется, а металлические стенки воздуховода (даже из коррозионностойкой стали) и элементы вентиляторов подвергаются коррозии.

Для защиты вентиляционных систем используют фильтрующие элементы, встраиваемые непосредственно в местные отсосы (рис. 8.4). Фильтрующий элемент из слоя иглопробивного войлока или полипропиленовых волокон, зажатый между винипластовыми сетками, имеет вид прямоугольной кассеты, которая вставляется через люк в корпус под углом относительно вертикальной оси и закрепляется в пазах, уплотняемых войлоком. Уловленные капли раствора стекают в карман, находящийся в нижней части кассеты, откуда выводятся наружу. Эффективность улавливания сернокислого тумана войлоком составляет величину порядка 100 %, а винипластовыми сетками с полипропиленовыми волокнами – 79-99,7 %; эффективность очистки воздуха от растворов хромирования составляет 98 %. Загрязненные кассеты вынимают из корпуса бортового отсоса и регенерируют путём промывки в промывной ванне. В табл. 8.5 приведены рекомендации по выбору фильтров.

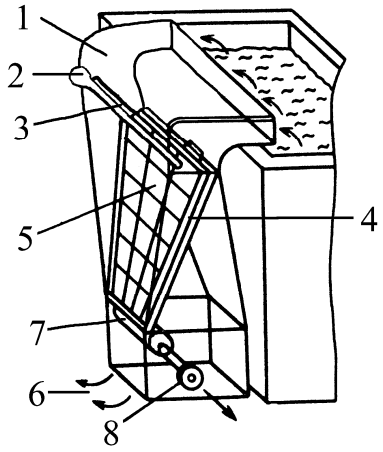



Рис. 8.4. Фильтр, встроенный в бортовой отсос: 1 – бортовой отсос; 2 – промывочное устройство; 3 – люк; 4 – кассета; 5 – фильтрующая перегородка; 6 – выход очищенного воздуха; 7 – карман; 8 – штуцер вывода уловленного раствора

Для ***очистки отсасываемого воздуха от газообразных и парообразных веществ*** используют методы абсорбции (физической и хемосорбции), адсорбции, каталитические, термические, конденсации и компримирования.

Для физической абсорбции применяют воду, органические растворители, не вступающие в реакцию с извлекаемым газом, и водные растворы этих веществ. При хемосорбции в качестве абсорбента используют водные растворы солей и щелочей, органические вещества и водные суспензии различных веществ. Адсорбционные методы основаны на поглощении примесей пористыми телами – адсорбентами. Каталитические методы очистки основаны на химических превращениях токсичных

компонентов в нетоксичные на поверхности твёрдых катализаторов. В основе метода конденсации лежит явление уменьшения давления насыщенного пара растворителя при понижении температуры. Метод компримирования базируется на том же явлении, что и метод конденсации, но применительно к парам растворителей, находящимся под избыточным давлением, поэтому в гальваническом производстве не применяется.

Таблица 8.5

Рекомендации по выбору фильтров

| Технологический процесс | Расход воздуха, $м^3/ч$ | Состав аэрозоля | Концентрация на входе, $мг/м^3$ | Тип фильтра; степень очистки, % |
|---|---|---|---|---|
| Хромирование чёрных металлов | 4-10 | $CrO_3$ | 0,09-0,34 | ФВГ-Т; 96-99 |
| Молочное хромирование | 8-16 | $CrO_3$ | 1,6-9,0 | ФВГ-Т; 96-99 |
| Травление чёрных металлов | 1-13 | HCl<br>$H_2SO_4$ | 0,1-3,3<br>0,2-3,4 | Встроенные элементы; 95-98 |
| Осветление чёрных металлов | 8-10 | $CrO_3$ | 0,02-0,03 | ФВГ-Т; 96-99 |
| Электрохимическое обезжиривание металлов (кроме алюминия) | 1-10 | NaOH | 0,01-4,2 | ФВГ-Т с регенерацией паром; 96-98 |
| Оксидирование стали щелочное | 6-20 | NaOH | 0,1-0,55 | ФВГ-Т с регенерацией паром; 96-98 |
| Снятие старых покрытий с чёрных металлов | 1,5-10 | $H_2SO_4$ | 0,4-65,6 | Встроенные элементы; 95-98 |

*Абсорбционная очистка* основана на принципе поглощения паров и газов жидкими веществами – абсорбентами. Эффективность абсорбции зависит от коэффициента массопередачи, площади контакта поглощающих и поглощаемых веществ, времени контакта и величины движущей силы массопередачи. Последняя зависит в значительной степени от концентрации газов в очищаемом воздухе, состава абсорбента, температуры воздуха и жидкости.

Для улавливания хромового ангидрида, серной, фосфорной и соляной кислот применяют воду или щелочной раствор.

В практической гальванотехнике при работах с азотной кислотой с отходящими газами выбрасываются, как правило, NO и $NO_2$ при их одновременном присутствии. Основная сложность абсорбционных процессов связана с низкой химической активностью и растворимостью оксида азота NO. Поэтому применяют абсорбционное поглощение с одновременным окислением NO в химически активные соединения. Эффективное улавливание оксидов азота достигают щелочным раствором перманганата калия, содержащего 4 % NaOH (KOH) и 1-1,6 % $KMnO_4$; чем больше содержание $KMnO_4$, тем эффективнее очистка.

Газообразные цианистые соединения улавливают 5 %-м раствором железного купороса.

Для очистки отсасываемого воздуха от паров фтористоводородной кислоты (HF) применяют раствор соды по реакции:

$$2HF + Na_2CO_3 \rightarrow 2NaF + CO_3\uparrow + H_2O$$

После насыщения поглотительного раствора фторид-ионы осаждают в виде фторида кальция по реакции:

$$2NaF + Ca(OH)_2 \rightarrow CaF_2\downarrow + 2NaOH$$

Отфильтрованный фторид кальция, являющийся ценным продуктом, может быть использован в промышленности, например, стекольной.

Для очистки отсасываемого воздуха методом абсорбции жидкой фазой используют пенные аппараты и абсорберы с подвижной насадкой.

Пенный аппарат (рис.8.5) представляет собой корпус, в котором установлены горизонтальная решётка с круглыми или щелевыми отверстиями и стабилизатор пены, закреплённый над решёткой. Стабилизатор пены представляет собой сотовую решётку из вертикально расположенных пластин. Поглощающий раствор подаётся сверху на решётку, а воздух подаётся снизу в подрешёточное пространство и, пройдя через решётку, при взаимодействии с жидкостью образует слой подвижной пены, которая удерживается стабилизатором пены. Далее воздух проходит через брызгоуловитель и выходит из аппарата через верхний патрубок, а отработанная жидкость протекает через отверстия решётки и отводится по сливному штуцеру. Эффективность улавливания хромового ангидрида и цианистых соединений составляет ~85 %.

Абсорбер с подвижной насадкой (рис. 8.6) представляет собой колонку (круглую или прямоугольную), имеющую снизу опорно-распределительную решётку большого свободного сечения (40 %), предназначенную для поддержания насадки и распределения воздушного потока, а сверху удерживающую решётку со свободным сечением 90 %. Между решётками насыпана шарообразная насадка в виде пластмассовых шариков (полых или сплошных) или кольцевая насадка, состоящая из отрезков винипластовой или капроновой трубы; длина отрезка равна его диаметру. Расстояние между решётками соответствует 3-5 кратной высоте спокойного слоя насадки.

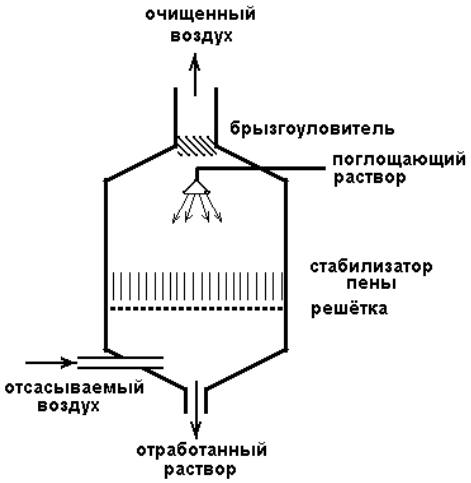



Рис. 8.5. Пенный аппарат

Абсорбер работает следующим образом: при пуске сверху в него подают абсорбирующую жидкость, которая омывает насадку, неподвижно лежащую на решётке.

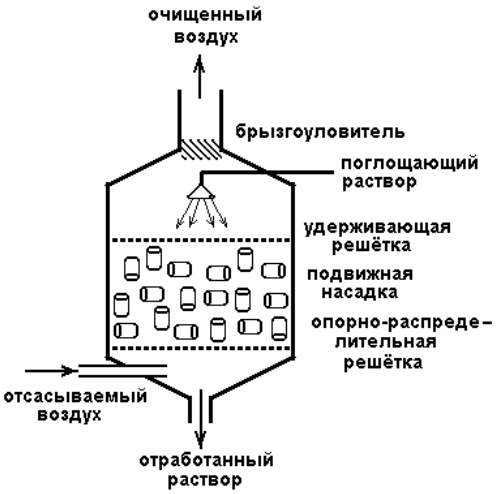



Рис. 8.6. Абсорбер с подвижной насадкой

Затем в нижнюю часть аппарата подают очищаемый воздух. При этом происходит взвешивание насадки и непрерывное хаотическое перемешивание с большой турбулентностью потоков очищаемого воздуха и жидкости, что повы-

шает площадь и продолжительность их контакта. Минимальная скорость потока воздуха обеспечивает начало взвешивания насадки, при максимальной скорости начинается прилипание насадки к удерживающей решётке. Для уменьшения уноса брызг в верхней части абсорбера установлен брызгоуловитель.

Достоинства абсорбера с подвижной насадкой: сильная турбулизация потоков воздуха и жидкости, обеспечивающая высокие коэффициенты массообмена; подвижность насадки, предотвращающая засорение аппарата твёрдыми частицами; простота устройства; малые высота и масса; относительно небольшое сопротивление. Преимущества кольцевой насадки по сравнению с шаровой: высокая пропускная способность по воздуху и жидкости, так как пористость неподвижного слоя у кольцевой насадки больше, чем у шаровой; она менее трудоёмка в изготовлении, чем шаровая насадка, и значительно дешевле. Эффективность абсорбции кислых газов щелочным раствором в турбулентно-контактном абсорбере типа ТКА равна 97 % при начальном содержании газов не более 500 мг/м$^3$.

Если в отсасываемом воздухе наряду с газообразными и парообразными примесями содержатся водорастворимые аэрозольные частицы, то для его очистки используют абсорбционные волокнистые фильтры типа ФАВ, в которых фактически объединены абсорбер с подвижной насадкой и фильтрующие элементы. Фильтр состоит из корпуса, изготовленного из титана, крышки, опорно-распределительной решётки свободным сечением 18-20 %, шаровой насадки из кислото-щёлочестойкой резины и фильтрующих элементов, работающих в режиме самоочищения. Фильтрующие элементы представляют собой каркасы цилиндрической формы с натянутым на них фильтрующим материалом из синтетического войлока А5. Фильтр работает следующим образом. Загрязнённый воздух подается в нижнюю часть корпуса, проходит через опорно-распределительную решётку и, захватывая поглотительный раствор, образует газожидкостную среду, в которой свободно плавает шаровая насадка, и затем проходит через фильтрующий элемент. Периодичность промывки фильтра, смены поглотительного раствора и его нейтрализации устанавливается в процессе пуско-наладочных работ в зависимости от вида улавливаемого вещества. Степень очистки воздуха составляет 99,9 %.

*Адсорбционные методы* в отличие от абсорбционных позволяют

проводить очистку воздуха с небольшим содержанием газообразных и парообразных примесей.

В качестве адсорбентов используют пористые материалы с высокоразвитой внутренней поверхностью. Внутренняя структура наиболее распространенных на практике промышленных адсорбентов характеризуется наличием различных размеров и форм пустот или пор, среди которых различают макро-, переходные (мезо-) и микропоры. Суммарный объём последних к единице массы или объёма адсорбента определяет в решении задач газоочистки как скорость (интенсивность) поглощения загрязняющего компонента, так и адсорбционную способность (величину адсорбции) твёрдым поглотителем этого компонента.

К основным типам промышленных абсорбентов относятся активированные угли, силикагели, алюмогели (активный оксид алюминия), цеолиты и иониты.

Активированные угли характеризуются гидрофобностью (плохой сорбируемостью полярных веществ, к которым относится и вода). Угли АГ-2 предназначены для адсорбции газов, уголь СКТ – для улавливания паров органических веществ, угли АР, СКТ-3 и АРТ – для очистки воздуха от паров летучих органических растворителей (бензин, керосин, уайт-спирит и др.) из воздуха, отсасываемого от оборудования для обезжиривания органическими растворителями. Скорость воздуха 0,2 м/с. После насыщения угля органическими растворителями его регенерируют продувкой острым паром с температурой 110-120 °С, после чего паровоздушную смесь охлаждают в конденсаторе и разделяют на воду (нижний слой) и растворитель (верхний слой), которые сливают в отдельные ёмкости.

Существенными недостатками активированных углей являются относительно невысокая механическая прочность и горючесть.

Значительный интерес в последнее время вызывают активированные углеродные волокна. Наряду с высокой термохимической стойкостью и хорошими поглотительными и фильтрующими свойствами волокнистые углеродные адсорбенты ввиду малых диаметров волокон, составляющих $(06\text{-}1{,}0)\cdot 10^{-5}$ м, характеризуются повышенными скоростями адсорбционно-десорбционных процессов.

Силикагели по своей химической природе представляют собой гидратированные аморфные кремнеземы ($SiO_2 \cdot nH_2O$), являющиеся реакционноспособными соединениями переменного состава, превращения

которых происходит по механизму поликонденсации.

Силикагели служат для поглощения полярных веществ, к которым относится и вода. Мелкопористые силикагели используют для адсорбции легкоконденсируемых паров и газов. Крупнопористые и частично среднепористые силикагели служат эффективными поглотителями паров органических соединений.

Силикагели негорючи и характеризуются низкой температурой регенерации (110-200 °С) и достаточно высокой механической прочностью. В то же время они разрушаются под действием капельной влаги.

Алюмогели (активный оксид алюминия $Al_2O_3 \cdot nH_2O$, где $0<n<0,6$) в отличие от силикагелей стойки к воздействию капельной влаги. Их используют для улавливания полярных органических соединений и осушки газов.

Цеолиты представляют собой алюмосиликаты, содержащие в своём составе оксиды щелочных и щелочно-земельных металлов ($Me_{2/n}O \cdot Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot yH_2O$) и характеризующиеся регулярной структурой пор, размеры которых соизмеримы с размерами молекул. Катионы цеолитов в определенных условиях их обработки могут замещаться на соответствующие катионы контактируемых с ними растворов, что позволяет рассматривать цеолиты как катионообменники. Поглощение вещества происходит в основном в адсорбционных полостях цеолитов, соединяющихся друг с другом входными окнами строго определенных размеров. Проникать через окна могут лишь молекулы, диаметр которых меньше диаметра входного окна.

Цеолиты обладают наибольшей адсорбционной способностью по отношению к парам полярных соединений и веществ с кратными связями в молекулах.

Цеолит NaA может адсорбировать $H_2S$, $CS_2$, $CO_2$, $NH_3$, низшие диеновые и ацетиленовые углеводороды, этан, этилен, органические соединения, содержащие в молекуле одну метильную группу. Пропан и органические соединения с числом атомов углерода в молекуле более трех этим цеолитом не адсорбируются.

Цеолиты типа X адсорбируют все типы углеводородов, органические сернистые, азотистые и кислородные соединения, галоидозамещенные углеводороды, пента- и декаборан.

Для очистки отсасываемого воздуха, содержащего до 200 мг/м$^3$ аэрозолей, газов и паров, от примесей вредных веществ применяют ад-

сорбционные методы с использованием нетканых полотен, изготовленных из ионитовых волокон. С этой целью используются волокна на основе полиакрилонитрила типа ВИОН АС-1, ВИОН АН-1, ВИОН КН-1.

Поглощение веществ ионитами представляет собой процесс взаимодействия газовой и парообразной среды с твёрдой фазой, обладающей способностью обменивать ионы, содержащиеся в ней, на другие ионы, присутствующие в газовой фазе.

Ионообменные волокнистые (иглопробивные) материалы позволяют производить их регенерацию и могут многократно использоваться. Регенерацию полотен производят промывкой водой или растворами кислот или щелочей. Межрегенерационный период работы фильтров зависит от концентрации примесей в очищаемом воздухе и составляет от нескольких часов до нескольких месяцев. Нетканые полотна имеют малую плотность (менее 0,1 г/см$^3$) и низкое аэродинамическое сопротивление. Они позволяют получать большую фильтровальную поверхность в единице объёма аппарата (до 30 м$^2$/м$^3$), что обеспечивает большую пропускную способность фильтра при относительно низкой скорости фильтрования (0,1-0,2 с). Изготавливаются ионитовые фильтры (рис. 8.7) для очистки воздуха от сернистого ангидрида, фтористого водорода, хлористого водорода, аммиака, хлора, аэрозолей кислот и солей, в том числе солей никеля при их содержании до 1 г/м$^3$.

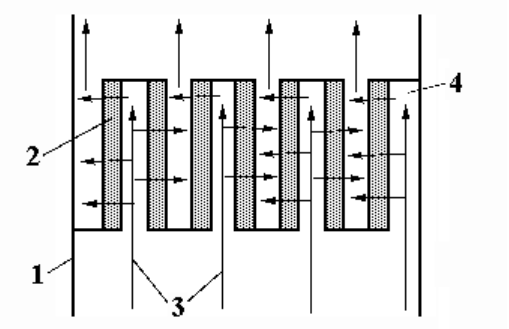



Рис. 8.7. Схема ионитового фильтра:
1 – колонна, 2 – фильтровальный элемент, 3 – направление движения очищаемого воздуха, 4 – каналы

Фильтры представляют собой колонну 1 прямоугольного сечения, внутри которой параллельно её оси расположены фильтровальные элементы. Фильтровальные элементы 2 представляют собой расположенные вертикально (параллельно потоку воздуха) несущие рамки из дерева или винипласта, в которых закреплены армированные полимерной сеткой полотна толщиной 10-20 мм. Рамки разделены пустыми канала-

ми 4 шириной 20-30 мм, которые попеременно перекрыты со стороны входа и выхода воздуха. Очищаемый воздух 3 поступает в каналы, открытые со стороны входа, фильтруется через полотна, образующие стенки каналов, и выходит через каналы, открытые со стороны выхода.

Для регенерации фильтров периодически или непрерывно к верхним кромкам полотна подводится вода или другой регенерирующий агент, которые, стекая по слою полотна, вымывают адсорбированные вещества, собираются в нижнем коллекторе, откуда периодически выводятся.

Для улавливания газов и аэрозолей HF, HCl, $H_2SO_4$, $HNO_3$ применяют материал ВИОН АН-1 (анионит). Оптимальная скорость фильтрации 0,1 м/с. Температура очищаемого воздуха 20±10 °С. Степень очистки воздуха не менее 99 %.

Для улавливания газов и аэрозолей $SO_2$, $Cl_2$, $H_2S$, $HNO_3$ рекомендуется материал ВИОН КН-1 (катионит). Скорость фильтрации 0,02-0,1 м/с. Степень очистки воздуха не менее 95%.

Для улавливания примеси цианидов щелочных металлов и цианистого водорода из отсасываемого воздуха рекомендуют влажное (60 %) ионообменное волокно марки АС-1. Регенерацию волокна после насыщения цианидами проводят 2 %-м раствором NaOH или 5 %-м раствором $Na_2CO_3$.

Кислые примеси можно улавливать с применением насыпного слоя гранулированных ионитов в кипящем слое, который необходимо непрерывно орошать водой или раствором щёлочи. Скорость воздуха в аппарате 1-1,5 м/с. Размер гранул ионита менее 1 мм. Степень очистки воздуха достигает 98%. Во избежание канального проскока воздуха, образования воздушных пузырей в кипящем слое и снижения степени очистки воздуха отношение диаметра аппарата к слою сорбента принимают равным 2:1.

Перспективным является обезвреживание газовоздушных смесей, содержащих органические растворители, *термокатализом*, т.е. каталитическим окислением при повышенной температуре (250-400 °С). Паровоздушная смесь направляется последовательно в электронагреватель и каталитический аппарат. В нагревателе паровоздушная смесь нагревается до температуры начала каталитического окисления паров растворителей (260-280 °С). Допустимый разогрев не выше 650 °С. В каталитическом аппарате происходит беспламенное сжигание паров растворите-

лей, т.е. превращение их в углекислый газ и пары воды. Катализатор представляет собой смесь оксидов неблагородных металлов с добавками платины и палладия (0,01-0,001 %), нанесённых в виде активной пленки на нихромовую проволоку, свитую в спираль. За счёт реакции окисления температура паровоздушной смеси возрастает пропорционально концентрации паров растворителей. Так, при исходном содержании паров растворителей 1 г/м$^3$ и степени очистки 95% температура возрастает на 30°С.

Катализатор отличается способностью окислять различные компоненты выбросов, обладает высокой механической прочностью, прост в обслуживании. В случае оседания на нём пылевых частиц его периодически промывают. Регенерация катализатора заключается в повторном нанесении активной пленки на нихромовую проволоку.

Для очистки отсасываемого воздуха от парообразный веществ используют *конденсаторы*, в которых за счёт охлаждения проходящего через него воздуха происходит конденсация паров. Конденсатор представляет собой заключённые в кожух гладкие или оребрённые трубки, в которые подается вода или другая охлаждающая жидкость при температуре более низкой, чем температура насыщения пара. Паровоздушная смесь, обтекая трубки, охлаждается, часть пара сжижается, конденсат стекает в поддон и выводится из аппарата. Увеличение количества сжижаемого пара возможно за счёт увеличения рабочего объёма конденсатора, а при заданном объёме конденсатора – за счёт уменьшения диаметра трубок и увеличения их числа. При равных условиях чем ниже температура охлаждающей жидкости, тем большее количество пара может быть сконденсировано.

Для обеспечения работы вентиляционных систем наибольшее распространение имеют радиальные вентиляторы низкого и среднего давления типа ВР-300-45, ВЦ 14-46 и ВЦ 4-70, а также канальные вентиляторы ВК.

## 9. Водное хозяйство

В гальваническом производстве вода используется на хозяйственно-бытовые, противопожарные и технологические нужды.

Расход воды на хозяйственно-питьевые нужды, пользование душем и уборку помещений определяется в соответствии с требованиями СНиП 11-30-75 и СНиП 11-90-81. Расход воды на пожаротушение определяется в соответствии с требованиями СНиП 2.04.02-84.

Технологические нужды включают в себя: приготовление технологических растворов, промывку деталей, охлаждение оборудования (выпрямителей) и растворов (ванн), прочие нужды (промывку фильтров, вентилей, мойку оборудования). Расход воды на приготовление технологических растворов определяется объёмом ванн и составом растворов. Расход воды на охлаждение выпрямителей определяется их типом и мощностью и указывается в технической документации (паспорте). До 90-95 % воды в гальваническом производстве используется на промывные операции, причём удельный расход воды зависит от применяемого оборудования и колеблется в широком диапазоне от 0,2 до 2,3 $м^3$ на 1 $м^2$ обрабатываемой поверхности.

### 9.1. Требования к качеству воды и промывки

В гальваническом производстве при нанесении покрытий детали обрабатываются поочерёдно в нескольких растворах, имеющих, как правило, отличающиеся друг от друга составы с чёткими границами интервалов концентраций веществ. При вынимании деталей из технологической ванны вместе с деталью на её поверхности выносится тонкая плёнка раствора ("нельзя выйти сухим из воды"), который (если бы не было промывки), попадая в следующую по ходу техпроцесса технологическую ванну, загрязняет её, что в большинстве случаев приводит к появлению брака. В то же время вынесенный деталями раствор из последней технологической ванны при их сушке образует тонкий налёт сухих веществ, которые при эксплуатации изделий растворяются в конденсирующейся на поверхности деталей влаге (обычное явление в реальных условиях эксплуатации) и образуют раствор, способствующий коррозии покрытия и основы и нарушению функциональных характеристик покрытий. Поэтому промывка деталей предназначена для предотвращения загрязнения технологических растворов и обеспечения чистоты поверхности готовых деталей. Следовательно, требования к составу

промывной воды определяются предельной концентрацией примесей в технологических растворах и свойствами и назначением покрытий.

Эффективность работы электролитов и качество получаемых осадков в значительной степени определяется чистотой растворов с точки зрения наличия или отсутствия посторонних неорганических и органических загрязнений. Загрязнения растворов далеко не всегда вызывают видимые невооружённым глазом дефекты, часто брак оказывается "скрытым" и выявляется на последующих стадиях эксплуатации. Например, нередки случаи, когда никелевые покрытия, удовлетворяющие требованиям по внешнему виду, не обладают паяемостью, являются хрупкими, пористыми, имеют повышенное переходное сопротивление, не обеспечивают получение качественных сварных швов и т.п. Различные электролиты могут быть в большей или меньшей степени чувствительны к загрязнениям, но суть заключается в том, что во всех случаях загрязнения сказываются на свойствах покрытий. Для наиболее распространённых растворов и электролитов в табл. 9.1 приведены предельные концентрации вредных примесей, влияющих на качество обработки поверхности и наносимых покрытий.

В процессе эксплуатации растворов содержание в них примесей колеблется в очень широких пределах, различающихся на 3-4 порядка в зависимости от состава электролита, материала обрабатываемых деталей, условий электролиза, случайных факторов. Многие металлические примеси соосаждаются совместно с основным металлом, некоторые вещества разрушаются на электродах, поэтому их концентрация в растворе постоянно уменьшается. Если такие примеси поступают от какого-то постоянного источника в концентрации ниже допустимой, то можно считать такой источник загрязнений не существенным. Однако некоторые примеси не захватываются покрытием и не разрушаются на электродах; такие примеси, даже поступая в концентрации гораздо ниже допустимой, при длительной эксплуатации раствора постоянно накапливаются, их концентрация в растворе стремится к значению концентрации в источнике загрязнений. Одним из главных источников загрязнений, причём постоянным во времени, является промывная вода. Таким образом, концентрация вредных примесей в промывной воде должна быть ниже предельной концентраций вредных примесей в электролитах.

Таблица 9.1

Предельные концентрации вредных неорганических примесей в технологических растворах и электролитах

| Типы электролитов | | Вредные примеси | Предельная концентрация, г/л |
|---|---|---|---|
| Электролиты цинкования | щелочной | медь | 0,1 |
| | | свинец | 0,03 |
| | аммиакатный | железо | 3,0 |
| | | медь | 0,2 |
| | цианистый | медь | 0,05 |
| | | олово | 0,05 |
| | | алюминий | 0,05 |
| | | карбонаты | 100 |
| | хлоридный | медь | 0,08 |
| | | свинец | 0,05 |
| | | сурьма | 0,05 |
| | | олово | 0,8 |
| | | мышьяк | 0,005 |
| Электролиты кадмирования | аммиакатный | свинец | 0,02 |
| | | олово | 0,02 |
| | | сурьма | 0,02 |
| | | мышьяк | 0,02 |
| | | железо | 0,5 |
| | | никель | 0,5 |
| | цианистый | свинец | 0,05 |
| | | олово | 0,05 |
| | | сурьма | 0,05 |
| | | серебро | 0,05 |
| | | медь | 0,05 |
| | | мышьяк | 0,005 |
| Электролиты меднения | сернокислый | железо | 20 |
| | | мышьяк + сурьма | 0,01 |
| | цианистый | свинец | – |
| | | сурьма | – |
| | | мышьяк | – |
| Электролит серебрения | | медь | 10 |
| | | железо | 3 |
| Цианистый электролит золочения | | медь | 0,1 |
| | | железо | 0,1 |
| Электролит для осаждения сплава олово-свинец О-С (60) | | медь | 0,1 |
| | | олово (IV) | 2,0 |
| | | цинк | 0,3 |
| | | кадмий | 0,25 |
| | | железо | 0,6 |

| Типы электролитов | | Вредные примеси | Предельная концентрация, г/л |
|---|---|---|---|
| Электролиты никелирования | | медь | 0,01 |
| | | цинк | 0,01 |
| | | железо | 0,05 |
| | | хром | 0,001 |
| | | кальций | 0,01 |
| | | магний | 0,01 |
| | | алюминий | 0,1 |
| | | свинец | 0,001 |
| | | олово | 0,001 |
| | | мышьяк | 0,005 |
| | | нитраты | 0,005 |
| | | фосфаты | 0,005 |
| | | силикаты | 0,3 |
| | | сера ($S_2O_4^{2-}$, $SO_3^{2-}$, $S^{2-}$) | 0,005 |
| Сернокислый электролит хромирования | | железо | 3 |
| | | медь | 5 |
| | | нитраты | 0,1 |
| Раствор фосфатирования | | сульфаты | 2 |
| | | хлориды | 1 |
| Электролиты анодирования алюминия и его сплавов | хромовый | алюминий | 10 |
| | | хлор-ионы | 0,2 |
| | сернокислый | алюминий | 25 |
| | | медь | 2 |
| | | магний | 5 |
| | | железо | 2 |
| | | оксиды азота | 0,2 |
| | | хлор-ионы | 0,1 |
| | сульфосалициловый | алюминий | 2,5 |
| | щавелевокислый | алюминий | 20 |
| Растворы химического никелирования | | сульфат меди | 0,01 |
| | | хлорид цинка | 1,0 |
| | | хлорид кадмия | 0,1 |
| | | хлорид железа | 0,1 |
| | | хлорид свинца | 0,1 |
| | | сульфат натрия | 20,0 |
| | | роданид калия | 0,1 |
| | | цианид калия | 0,1 |

Тогда легче предотвратить попадание в электролиты и накопление в них примесей, чем организовывать их удаление. При этом многие примеси удаляются с большим трудом (хлор-ионы), а есть практически не удаляемые, например примеси аммония и силикат-ионов.

Из вышеизложенного вытекает главный принцип определения качества воды для промывки: **качество промывной воды должно определяться** не только и не столько составом раствора, после которого осуществляется промывка деталей, сколько **составом раствора, перед которым проводится промывка**. Например, зачем отмывать деталь от хлоридов перед хлоридным электролитом? Качество воды в последней промывной ванне перед сушкой готовых деталей должно определяться свойствами и назначением покрытия. Так, например, после фосфатирования под окрашивание перед сушкой струёй горячего воздуха промывку можно не проводить, в то же время детали с декоративными и функциональными покрытиями требуют перед сушкой тщательной промывки.

Используемая для промывки деталей вода должна быть безопасной в эпидемиологическом отношении и химически инертной к покрытию.

В соответствии с ГОСТ 9.314-90 в гальваническом производстве может использоваться вода трёх категорий: вода 1-й категории по своим физико-химическими показателями соответствует питьевой воде, а вода 3-й категории – дистиллированной воде (табл. 9.2). Причём по данному ГОСТу перед многими операциями для промывки регламентируется применение воды только 3-й категории (табл. 9.3).

Вполне естественно, что чем чище промывная вода, тем лучше промываются детали и тем качественнее получаются покрытия. Однако, учитывая экономические возможности заводов, а также практику работы гальванических цехов, можно с большой долей уверенности утверждать, что применение дистиллированной воды для промывки деталей желательно, но во многих случаях излишне.

Об этом говорит не только практика работы гальванических цехов. Действительно, зачем промывать детали в такой чистой воде (3-й категории) перед меднением и хромированием, не говоря уж о применении столь чистой воды для промывки перед осветлением и пассивированием коррозионностойких сталей? Непонятно также, почему вода 1-й категории (питьевая) может применяться лишь для промывки в операциях подготовки поверхности к покрытию, и то не всегда.

Таблица 9.2

Физико-химические показатели воды

| Показатели качества воды, ингредиенты | Допустимые значения показателей качества и ингредиентов по категориям: | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 кат. ГОСТ 9.314 | питьевая вода СанПиН 2.1.4.1074-01 | 2 кат. ГОСТ 9.314 | 3 кат. ГОСТ 9.314 | дистиллированная вода ГОСТ 6709 |
| Сухой остаток, мг/л | 1000 | 1000 | 400 | 5,0 | 5,0 |
| Мутность, мг/л | 2,0 | 1,5 | 1,5 | – | – |
| Жесткость, мг-экв/л | 7,0 | 7,0 | 6,0 | – | – |
| pH | 6,0-9,0 | 6,0-9,0 | 6,5-8,5 | 5,4-6,6 | 5,4-6,6 |
| Удельная электрическая проводимость, См/м, (при 20 °С) | $2\cdot10^{-3}$ | $2\cdot10^{-3}$ | $1\cdot10^{-3}$ | $5\cdot10^{-4}$ | $5\cdot10^{-4}$ |
| Сульфаты, мг/л | 500 | 500 | 50 | 0,5 | 0,5 |
| Хлориды, мг/л | 350 | 350 | 35 | 0,02 | 0,02 |
| Нитраты, мг/л | 45 | 45 | 15 | 0,2 | 0,2 |
| Фосфаты, полифосфаты (по $PO_4^{3-}$), мг/л | 30 | 3,5 | 3,5 | 1,0 | – |
| Аммиак и аммонийные соли, мг/л | 10 | – | 5,0 | 0,02 | 0,02 |
| Нефтепродукты, мг/л | 0,5 | 0,1 | 0,3 | – | – |
| ПАВ (анионоактивные), мг/л | 5,0 | 0,5 | 1,0 | – | – |
| ХПК, мг/л | 150 | – | 50 | – | – |
| Окисляемость перманганатная, мг/л | – | 5,0 | – | – | 0,08 |
| Остаточный хлор (своб./связ.), мг/л | 1,7 | 0,3-0,5<br>0,8-1,2 | 1,7 | – | – |
| Ионы тяжелых металлов суммарно, мг/л | 15 | – | 5,0 | 0,4 | – |
| Железо (Fe), мг/л | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,05 | 0,05 |
| Медь (Cu, суммарно), мг/л | 1,0 | 1,0 | 0,3 | 0,02 | 0,02 |
| Цинк ($Zn^{2+}$), мг/л | 5,0 | 5,0 | 1,5 | 0,2 | 0,2 |
| Кадмий (Cd, суммарно), мг/л | – | 0,001 | – | – | – |
| Никель ($Ni^{2+}$), мг/л | 5,0 | 0,1 | 1,0 | – | – |
| Хром ($Cr^{6+}$), мг/л | – | 0,05 | – | – | – |
| Хром ($Cr^{3+}$), мг/л | 5,0 | 0,5 | 0,5 | – | – |
| Свинец (Pb, суммарно), мг/л | – | 0,03 | – | – | 0,05 |
| Алюминий ($Al^{3+}$), мг/л | – | 0,5 | – | – | 0,05 |
| Кремний (Si), мг/л | – | 10,0 | – | – | – |

Таблица 9.3

Области применения воды в соответствии с ГОСТ 9.314-90

| Категория воды | Область применения | Дополнительные указания |
|---|---|---|
| 1 | Промывка деталей после операций подготовки поверхности к покрытию, кроме операций, где используется вода категорий 2 и 3. | – |
| 2 | Приготовление электролитов и промывка во всех случаях, кроме перечисленных для воды 3-й категории. | Вода, использованная на промывку, может быть применена повторно как вода 1-й категории |
| 3 | Приготовление электролитов и промывка перед обработкой в электролитах, составленных на воде 3-й категории, а также при специальных требованиях к качеству и внешнему виду, для особо ответственных деталей. | Вода, использованная на промывку, может быть применена повторно как вода 1 и 2-й категорий |

Учитывая, что назначение промывки заключается в предупреждении загрязнения раствора следующей ванны, а также то, что реально в гальванические цеха подаётся только питьевая водопроводная вода, можно предложить следующие рекомендации по использованию воды различного качества:

1. *Для приготовления технологических растворов* необходимо использовать дистиллированную воду в тех случаях, когда на это указано в технологической документации; в остальных случаях следует использовать конденсат или питьевую водопроводную воду.

2. *Для промывки в проточных ваннах* перед всеми технологическими ваннами можно использовать обычную питьевую водопроводную воду. Когда предельная концентрация какого-либо вещества в технологическом растворе меньше, чем нормируемая концентрация данного вещества в питьевой воде, то в этом случае потребляемая водопроводная вода подвергается анализу на содержание в ней этого вещества и, в случае необходимости, очистке именно от этого вещества. Одним из

наиболее часто встречающихся случаев в практике работы гальванических цехов является высокое содержание в водопроводной воде железа, что может негативно сказаться на качестве многих, особенно никелевых и хромовых, покрытий. В этом случае перед подачей воды на промывку перед ванной нанесения покрытий необходимо подвергать воду очистке от железа любым из доступных методов, например, аэрацией с последующей фильтрацией. Для промывки в непроточных ваннах дистиллированную воду необходимо использовать лишь в том случае, когда промывная вода из этих ванн улавливания служит для подпитки технологической ванны, раствор в которой готовился на дистиллированной воде. Например, ванны улавливания после никелирования и хромирования заполняются дистиллированной водой, так как промывную воду из этих ванн улавливания постоянно подливают в ванны соответственно никелирования и хромирования для компенсации потерь растворов на испарение и унос в вентиляцию. Вместо дистиллированной воды можно использовать конденсат, образующийся в системе подогрева растворов насыщенным или перегретым паром.

3. *Дистиллированную или обессоленную воду* для промывки используют в технологических процессах, в которых это особо оговаривается (микроэлектроника, радиотехника и т.п.).

Что касается качества промывки, то и здесь главным требованием является исключение критического (свыше допустимого) загрязнения технологических растворов и обеспечение надлежащего качества поверхности готовых деталей. Однако здесь рассматривается вклад в загрязнение последующего технологического раствора не только компонентами, содержащимися в исходной воде, применяемой для промывки, но и компонентами, вынесенными поверхностью деталей из предыдущей технологической ванны. При промывке в ванне непроточной промывки раствор, вынесенный из технологической ванны с деталями, и растворённые в нём вещества полностью с поверхности деталей не удаляются, а лишь снижается их концентрация путём разбавления промывной водой. Самая первая партия деталей промывается чистой водой, а последующие – водой, загрязнённой веществами, смытыми с поверхности предыдущих деталей. Таким образом, в промывной воде постоянно увеличивается концентрация компонентов раствора из предыдущей ванны. При отсутствии постоянного или периодического обмена загрязнённой промывной воды на чистую может наступить такой момент, ко-

гда состав раствора в промывной ванне сравняется с составом раствора предыдущей технологической ванны и промывная ванна полностью прекратит выполнять своё назначение. Поэтому загрязнённая промывная вода должна частично или полностью обмениваться на чистую. Скорость обмена промывной воды должна быть такой, чтобы вынесенное поверхностью деталей количество компонентов предыдущего технологического раствора не повлияло на работу последующего технологического раствора, т.е. в промывной ванне необходимо поддерживать концентрацию компонентов предыдущего технологического раствора меньше предельной. Для окончательной промывки готовых деталей предельная концентрация компонентов раствора в последней ступени промывки определяется назначением и свойствами покрытия.

В табл. 9.4 представлены предельные концентрации отмываемого вещества (компонента предыдущего технологического раствора) в промывной воде в последней по ходу движения деталей ступени промывки для большинства встречающихся на практике случаев.

На качество промывки после некоторых операций влияет температура воды. Так, например, щелочные растворы плохо смываются с деталей, и поэтому после химического и электрохимического обезжиривания, травления алюминия и т.п. промывку ведут в горячей воде (70-90 °С). В тоже время после обработки в горячем растворе щелочного оксидирования стальные детали нежелательно промывать в горячей воде, так как промывная вода может вскипеть вследствие опускания в неё горячих деталей (нагретых до 140°С). Если после горячей промывки следует активация, то перед этой операцией необходимо предусмотреть промывку в холодной воде, что исключает быстрое высыхание деталей после промывки в горячей воде и окисления, а также перетравливания горячей поверхности деталей в ванне активации.

В соответствие с ГОСТ 9.314-90 горячая вода (выше 59°С) применяется после операций обезжиривания, травления и снятия травильного шлама в щелочных растворах, при наличии на поверхности значительного количества масел или смазок, перед химическим обезжириванием или перед одновременным обезжириванием-травлением, перед нанесением покрытий в тёплых и горячих растворах, перед сушкой. Горячая вода не рекомендуется к применению после операций хроматирования по цинковому и кадмиевому покрытиям и химического оксидирования стали, алюминия и его сплавов.

Таблица 9.4

Предельные концентрации отмываемых веществ в промывной воде

| Наименование основного* отмываемого компонента или иона технологического раствора | Наименование операции или тип электролита, используемого в этой операции, перед которой производится промывка | Предельная концентрация отмываемого вещества в последней ступени промывки, $c_n$, г/л |
|---|---|---|
| Общая щёлочность в пересчёте на NaOH | Щелочной электролит | 0,800 |
| | Кислый или цианистый электролит | 0,100 |
| | Анодирование алюминия | 0,050 |
| | Сушка | 0,100 |
| | Промывка в мыльной воде | 0,200 |
| Кислота в пересчёте на $H_2SO_4$ | Кислый электролит | 0,100 |
| | Щелочной электролит | 0,050 |
| | Цианистый электролит | 0,010 |
| | Наполнение, сушка | 0,010 |
| $CN^-_{общ.}$ | Межоперационная промывка, сушка | 0,010 |
| $Cr^{6+}$, $Zn^{2+}$, $Pb^{2+}$, $Sn^{2+}$, $Sn^{4+}$, | Межоперационная промывка, сушка | 0,010 |
| $CNS^-$, $Cd^{2+}$ | Межоперационная промывка, сушка | 0,015 |
| $Cu^{2+}$, $Cu^+$ | Никелирование | 0,002 |
| | Другие операции, сушка. | 0,010 |
| $Ni^{2+}$ | Меднение | 0,020 |
| | Хромирование, сушка | 0,010 |
| Соли драгоценных металлов в пересчёте на металл | Сушка | 0,001 |
| $Fe^{2+}$ | Межоперационная промывка, сушка | 0,300 |
| Красители | Межоперационная промывка, сушка | 0,005 |

* За основной отмываемый компонент (ион) данного технологического раствора принимают тот, для которого кратность разбавления является наибольшей.

Тёплая вода (40-59 °С) применяется после операций обезжиривания, хроматирования, травления лёгких сплавов, снятия шлама, анодного окисления, перед и после химического оксидирования чёрных и цветных металлов. В остальных случаях рекомендуется применять для промывки деталей холодную воду.

### 9.2. Характеристика систем промывки

Как было ранее отмечено, основное назначение промывки – предотвращение загрязнения технологических растворов посторонними веществами, переносимыми поверхностью деталей. При промывке тонкий слой вынесенного поверхностью деталей раствора разбавляется промывной водой как за счёт конвекции, так и за счёт диффузии, в результате чего происходит снижение концентрации веществ в поверхностном слое жидкости. Этот разбавленный раствор поверхностью деталей переносится в следующую технологическую ванну. Поэтому целью промывки является снижение концентрации ранее вынесенных веществ в поверхностном слое жидкости до такой концентрации, которая не мешала бы работе последующей технологической ванны, или (если промывка осуществляется перед сушкой) не снижала бы качество готовых деталей.

Основными способами промывки изделий являются погружной и струйный. Струйные промывки более экономичны по сравнению с промывкой погружным способом, так как при струйной промывке на поверхности деталей происходит не только процесс разбавления выносимого раствора, но и процесс удаления и замещения плёнки раствора чистой водой за счёт гидродинамического воздействия струи воды. Однако воздействие струи имеет явно выраженную направленность, поэтому струйная промывка применима только для промывки деталей простой конфигурации (листы, проволока) и с обязательной предварительной экспериментальной проверкой достигаемой полноты промывки. Струйная промывка может быть применена в качестве дополнительной промывки изделий, имеющих глухие или глубокие отверстия (трубки, втулки, калибры, пружины и т.п.). При этом детали сначала погружают в ванны промывки с проточной водой, а затем, при извлечении из ванны, промывают направленными струями воды. Основной областью применения струйной промывки является производство печатных плат. В гальванических цехах вследствие большого разнообразия форм и конфигурации обрабатываемых деталей имеются единичные случаи применения струйной промывки (для деталей простой формы или с использованием модифицированных струй – капельно-аэрозольных), поэтому в дальнейшем в данной книге она не рассматривается.

Наиболее распространённым является погружной способ промывки, который может осуществляться в непроточных и проточных услови-

ях.

При промывке в *проточной воде* после технологической ванны применяют три основные схемы (рис.9.1): одноступенчатая промывка в одной (одинарной) ванне (а); многоступенчатая прямоточная промывка в нескольких последовательно устанавливаемых ваннах (ступенях) промывки, оборудованных самостоятельной системой подачи и слива воды (б); многоступенчатая противоточная (многокаскадная) промывка (в, г), при которой направление потока воды противоположно направлению движения деталей. Многокаскадная промывка, при прочих равных условиях, обеспечивает в несколько раз меньший расход воды, но большие концентрации загрязнений в сточных водах, поступающих на очистку.

Промывка в ваннах с проточной водой обеспечивает не только удаление компонентов растворов с поверхности деталей, но и постоянное поддержание минимальной загрязненности промывной воды.

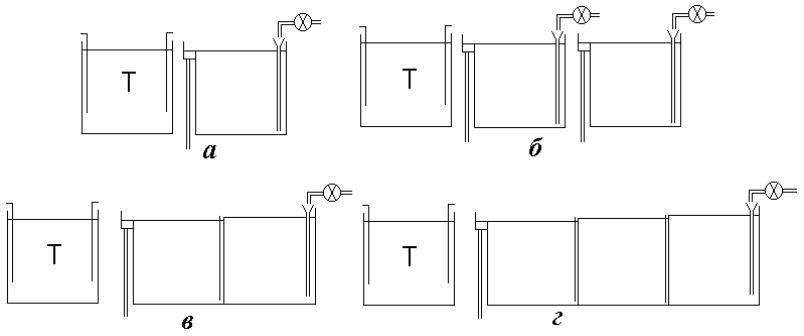



Рис. 9.1. Схемы промывок (движение деталей слева направо): *а* – одноступенчатая (одинарная), *б* – двухступенчатая прямоточная, *в* – двухступенчатая противоточная (двухкаскадная), *г* – трёхступенчатая противоточная (трёхкаскадная), *Т* – технологическая ванна

На рис. 9.2 представлены варианты организации слива промывной воды из ванн промывки. Стрелками показано направление движения воды. Варианты "а", "б", "в" не способствуют качественной промывки деталей, так как обменивается лишь ме́ньшая часть объёма ванны и образуются застойные зоны с повышенным загрязнением воды. Варианты "г" и "д" характерны для ванн со сливным карманом, но вариант "д" сложен в изготовлении. Вариант "е" прост в изготовлении и наиболее удобен при ручном обслуживании ванн и сильной неравномерности за-

грузки ванны, когда необходимы частые смены промывной воды или имеется возможность организовать периодически непроточный режим промывки. Для варианта "ж" затруднена корреляция регулировок кранов на подающем и сливном трубопроводах для поддержания требуемого уровня воды в ванне.

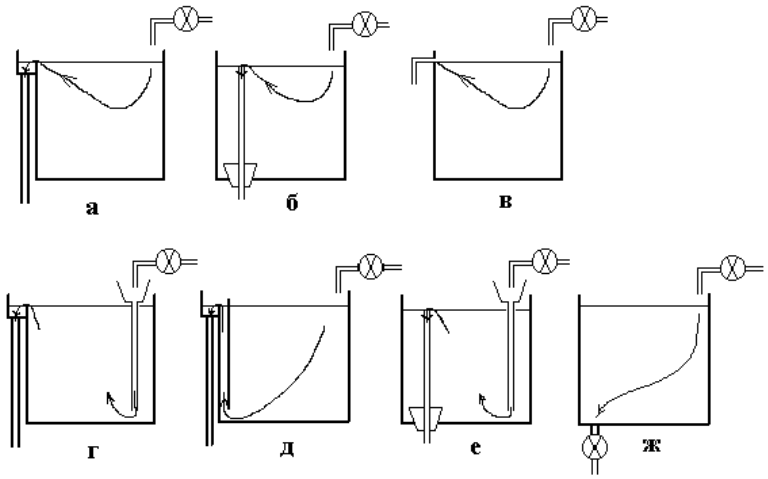



Рис. 9.2. Варианты организации слива промывной воды из ванн промывки (стрелками показано направление движения воды)

Промывка в *непроточной ванне* с периодическим сливом промывной воды (периодически непроточный режим промывки) осуществляется при мелкосерийном производстве, в случае малых (менее 50 л/ч), нерегулируемых расходах воды, а также для улавливания ценных или высокотоксичных компонентов (драгоценных металлов, соединений хрома и т.п.). В большинстве случаев (кроме нанесения драгоценных металлов) применяется одна ванна непроточной промывки – ванна улавливания. После ванны улавливания устанавливаются ванны проточной промывки. Без последующей ванны проточной промывки одна ванна улавливания в качестве самостоятельной схемы промывки не применяется, так как в ней очень быстро накапливается предельная концентрация отмываемого компонента $c_n$ и промывная вода подлежит довольно частой смене – продолжительность непроточного режима соответствует времени обработки нескольких загрузок, т.е. порядка нескольких часов. При работе ванны улавливания совместно с ваннами проточной промывки

концентрация отмываемых компонентов в уловителе не ограничивается предельной концентрацией отмываемого компонента $c_n$ (табл.9.3), а может достигать в несколько сотен раз бóльших значений, поэтому вода в ванне улавливания меняется значительно реже – продолжительность непроточного режима может составить несколько месяцев и зависит от назначения ванны улавливания.

Последовательная промывка в *нескольких* непроточных ваннах может использоваться в качестве самостоятельной схемы, так как продолжительность непроточного периода (время работы между сменой воды) в этом случае значительно увеличивается: при промывке в двух ваннах улавливания продолжительность непроточного периода составляет от нескольких суток до нескольких недель, при промывке в трёх ваннах улавливания – от нескольких недель до нескольких месяцев, а при промывке в четырёх ваннах улавливания – от нескольких месяцев до нескольких кварталов. В связи с этим, перевод нескольких проточных ванн в периодически непроточный режим промывки значительно облегчает регулирование расхода воды, так как в этом случае расход воды определяется объёмом ванн улавливания и частотой смены промывной воды.

Кроме того, при постоянном протоке промывная вода нерационально расходуется во время обработки деталей в предыдущих ваннах и, что довольно часто происходит, во время производственных перерывов. Работа нескольких ванн промывок в периодически непроточном режиме за счёт исключения нерационального использования воды позволяет дополнительно сократить расход воды на 20-30%.

### 9.3. Расчёт расхода воды на промывку

Одним из главных факторов, определяющих расход воды, является удельный вынос раствора $q$ (л/м$^2$) из ванны поверхностью деталей, который зависит от сложности профиля детали, состояния поверхности и времени стекания раствора. При расчётах принимают максимальные значения удельного выноса раствора, представленные в табл. 9.5.

Кроме того, расход воды на промывку зависит от требуемого качества промывки, которое определяется кратностью разбавления вынесенных с поверхностью деталей компонентов растворов:

$$K=c_O/c_n\,,$$

где $c_o$ – концентрация отмываемого компонента в технологической ванне, $c_n$ – предельная концентрация отмываемого компонента в последней (по ходу движения деталей) ступени промывки (табл. 9.4).

Таблица 9.5

Максимальная норма удельного выноса раствора

| Вид обработки | Время стекания не менее, с | Норма удельного выноса, л/м$^2$ | |
|---|---|---|---|
| | | кислые растворы | щелочные и хромсодержащие растворы |
| На подвесках | 6 | 0,2 | 0,3 |
| В колоколах | 15 | 0,4 | 0,6 |
| В барабанах | 15 | 0,4 | 0,6 |
| В корзинах и сетках | 15 | 0,5 | 0,75 |

В общем виде расход воды на промывку определяется по формуле:

$$Q = n \cdot q \cdot F \cdot \sqrt[N]{\alpha K}, \qquad (9.1)$$

где $Q$ – расход воды на промывку, л/ч; $n$ – количество промывных ванн с собственной подачей воды; $q$ – удельный вынос (унос) раствора, л/м$^2$; $F$ – площадь обрабатываемой поверхности в единицу времени (производительность линии или технологической ванны), м$^2$/ч; $\alpha$ – коэффициент, учитывающий наличие ванн улавливания: $\alpha$=1 в отсутствии уловителей, $\alpha$=0,4 при одной, $\alpha$=0,15 при двух и $\alpha$=0,06 при трёх ваннах улавливания; $K$ – кратность разбавления; $N$ - количество ступеней проточной промывки.

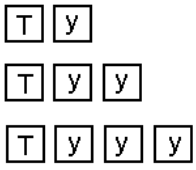
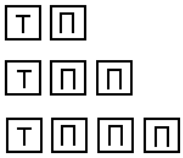
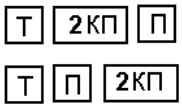
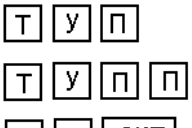
При расчёте по формуле (9.1) за одну ванну с собственной подачей воды принимается не только одинарная ванна промывки, но и каскадная ванна вне зависимости от количества каскадов (ступеней, ёмкостей и т.п.), так как в неё на все каскады имеется только один ввод воды.

Для конкретных, наиболее часто встречающихся схем промывки формула (9.1) приобретает более простой вид, представленный в табл. 9.6.

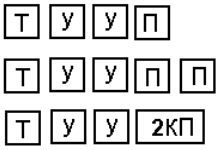
Расчётное значение расхода воды на промывку является минимальным значением, ниже которого не будет обеспечиваться необходимое качество промывки, поэтому на практике следует применять расходы воды, увеличенные на 10-20 % по сравнению с расчётными.

Таблица 9.6

Формулы расчёта расхода воды
для часто встречающихся схем промывки

| Схема промывки | Формула для расчета расхода воды, $Q$ |
|---|---|
|  | $Q = V_в : T_{сб}$<br>$Q = \sum V_в : T_{сб}$<br>$Q = \sum V_в : T_{сб}$ |
|  | $Q = q \cdot F \cdot K$<br>$Q = 2 \cdot q \cdot F \cdot \sqrt{K}$<br>$Q = 3 \cdot q \cdot F \cdot \sqrt[3]{K}$ |
| | $Q = q \cdot F \cdot \sqrt{K}$<br>$Q = q \cdot F \cdot \sqrt[3]{K}$ |
|  | $Q = 2 \cdot q \cdot F \cdot \sqrt[3]{K}$<br>$Q = 2 \cdot q \cdot F \cdot \sqrt[3]{K}$ |
|  | $Q = 0{,}4 \cdot q \cdot F \cdot K$<br>$Q = 2 \cdot q \cdot F \sqrt{0{,}4 \cdot K}$<br>$Q = q \cdot F \sqrt{0{,}4 \cdot K}$ |
| | $Q = 2 \cdot q \cdot F \cdot \sqrt[3]{0{,}4 \cdot K}$<br>$Q = 2 \cdot q \cdot F \cdot \sqrt[3]{0{,}4 \cdot K}$ |

Окончание табл. 9.6

| Схема промывки | Формула для расчета расхода воды, $Q$ |
|---|---|
|  | $Q = 0{,}15 \cdot q \cdot F \cdot K$<br>$Q = 2 \cdot q \cdot F\sqrt{0{,}15 \cdot K}$<br>$Q = q \cdot F\sqrt{0{,}15 \cdot K}$ |
| где: Т - технологическая ванна, У - ванна улавливания, П – одинарная ванна промывки, 2КП - двухкаскадная ванна промывки, 3КП - трёхкаскадная ванна промывки, $V_в$ - объём ванны промывки, $Т_{сб}$ - время между сменой промывной воды. Движение деталей слева направо. | |

Можно определить три группы мероприятий, с помощью которых можно регулировать водопотребление: изменение количества ступеней ($N$), замена прямотока на противоток ($n$ при $N=const$) и изменение режима промывки (α).

Чтобы лучше увидеть влияние каждой группы мероприятий в отдельности на расход воды на промывку погружным методом без барботажа в табл. 9.7 приведены расчётные значения расхода воды на промывку после конкретной операции: электрохимического никелирования с концентрацией ионов никеля в электролите 60 г/л, удельным уносом электролита 0,2 л/м$^2$, предельной концентрацией ионов никеля в последней ступени промывки 0,01 г/л, производительностью по никелированию1 м$^2$/ч.

Из данных, представленных в табл. 9.7, можно сделать следующие выводы:

1 – чем больше ванн (ступеней) промывки, тем меньше требуемый расход воды;

2 – при замене прямоточной промывки на противоточную расход воды сокращается пропорционально количеству ступеней промывки;

3 – увеличение ступеней промывки приводит к неравномерному сокращению расхода воды: бóльшее сокращение расхода воды на промывку (в десятки раз) достигается при замене одноступенчатой ванны промывки (одинарной) на двухступенчатую (прямоточную или каскадную). Увеличение ступеней промывки ещё на одну приводит к менее значительному сокращению расхода воды – в 2-4 раза. При переходе же

от трёхступенчатой к четырёхступенчатой промывке водопотребление сокращается лишь на 30-50 %. Дальнейшее увеличение ступеней промывки не имеет практического смысла, так как малая экономия воды достигается значительным увеличением занятой производственной площади цеха. Поэтому на практике больше трёх ступеней **проточной** промывки устанавливать не рекомендуется.

Таблица 9.7

Расход воды (л/ч) для различных схем промывки после электрохимического никелирования: $F$=1 м$^2$/ч, $q$=0,2 л/м$^2$, $c_n$=60 г/л, $c_o$=0,01 г/л

| Режим промывки | Количество ступеней промывки | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Прямоточный | 1200 | 31,0 | 10,9 | 7 | 5,7 | 5,1 |
| Противоточный | 1200 | 15,5 | 3,6 | 1,8 | 1,1 | 0,9 |
| Периодически непроточный со сбросом воды только из первой ступени | 1200 | 11,0 | 2,0 | 0,8 | 0,4 | 0,3 |

Периодически непроточный режим работы промывных ванн будет рассмотрен ниже.

Для выбора схем промывки рекомендуется руководствоваться нижеприведёнными основными положениями и порядком выбора схем промывок.

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПОРЯДОК

### ВЫБОРА СХЕМ ПРОМЫВКИ ДЛЯ ЛИНИИ:

**1.** Горячую промывку (60-90 °С) устанавливают: после обезжиривания и снятия травильного шлама в щелочных растворах, при значительном количестве на поверхности деталей масел или смазок; перед химическим обезжириванием, одновременным обезжириванием-травлением, нанесением покрытий в тёплых и горячих растворах, сушкой деталей (кроме деталей с хроматированными цинковым и кадмиевым покрытиями, химическим оксидным и химическим оксидным электропроводным покрытиями по алюминию и его сплавам).

**2.** Тёплую промывку (40-59 °С) устанавливают: после обезжиривания и травления лёгких сплавов, анодного оксидирования, перед и после химического оксидирования чёрных и цветных металлов, перед сушкой деталей с хроматированными цинковым и кадмиевым покрытиями, химическим оксидным и химическим оксидным электропроводным покрытиями по алюминию и его сплавам.

**3.** Холодную промывку устанавливают перед активацией и перед адсорбционным окрашиванием анодно-окисных покрытий, а также во всех остальных случаях.

**4**. Более трёх ступеней проточной промывки после технологических ванн не устанавливают, так как дальнейшее увеличение количества ступеней промывки не имеет практического смысла.

**5.** Одну ванну улавливания рекомендуется устанавливать после ванн, содержащих ионы тяжёлых металлов, две ванны улавливания – после ванн, содержащих ионы серебра, а также особо токсичные компоненты, три ванны улавливания – после ванн, содержащих ионы драгоценных металлов.

**6**. Расчёт кратности разбавления ($K=c_O/c_n$) ведут по отмываемому веществу, указанному в табл. 9.4: концентрация солей тяжёлого металла пересчитывается в концентрацию ионов тяжёлого металла по формуле $\left[Me^{m+}\right]=\left[Me_nX_m\right]\cdot\frac{А.м._{Me}\cdot n}{М.м._{Me_nX_m}}$ и суммируется; концентрация щелочных солей пересчитывается в концентрацию NaOH по формуле $\left[NaOH\right]=\left[Me_nX_m\right]\cdot\frac{40\cdot n\cdot m}{М.м._{Me_nX_m}}$ и суммируется; концентрация кислот пересчитывается в концентрацию той кислоты, которая указана в табл. 9.4 по формулам $\left[H_2SO_4\right]=\left[H_nX\right]\cdot\frac{49\cdot n}{М.м._{H_nX}}$, $\left[HNO_3\right]=\left[H_nX\right]\cdot\frac{63\cdot n}{М.м._{H_nX}}$ и суммируется (А.м. – атомная масса, М.м. – молекулярная масса).

**7**. Для каждой промывной операции одной гальванической линии рассчитывают расход воды по следующим схемам промывки (с учётом пунктов **1-5**):

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Т-П** | $Q = q \cdot F \cdot K$ | **Т-У-П-П-П** | $Q = 3 \cdot q \cdot F \cdot \sqrt[3]{0{,}4 \cdot K}$ |
| **Т-П-П** | $Q = 2 \cdot q \cdot F \cdot \sqrt{K}$ | **Т-У-2КП** | $Q = q \cdot F \cdot \sqrt{0{,}4 \cdot K}$ |
| **Т-П-П-П** | $Q = 3 \cdot q \cdot F \cdot \sqrt[3]{K}$ | **Т-У-3КП** | $Q = q \cdot F \cdot \sqrt[3]{0{,}4 \cdot K}$ |
| **Т-2КП** | $Q = q \cdot F \cdot \sqrt{K}$ | **Т-У-П-2КП** | $Q = 2 \cdot q \cdot F \cdot \sqrt[3]{0{,}4 \cdot K}$ |
| **Т-3КП** | $Q = q \cdot F \cdot \sqrt[3]{K}$ | **Т-У-2КП-П** | $Q = 2 \cdot q \cdot F \cdot \sqrt[3]{0{,}4 \cdot K}$ |
| **Т-П-2КП** | $Q = 2 \cdot q \cdot F \cdot \sqrt[3]{K}$ | **Т-У-У-П** | $Q = q \cdot F \cdot 0{,}15 \cdot K$ |
| **Т-2КП-П** | $Q = 2 \cdot q \cdot F \cdot \sqrt[3]{K}$ | **Т-У-У-П-П** | $Q = 2 \cdot q \cdot F \cdot \sqrt{0{,}15 \cdot K}$ |
| **Т-У-П** | $Q = q \cdot F \cdot 0{,}4 \cdot K$ | **Т-У-У-2КП** | $Q = q \cdot F \cdot \sqrt{0{,}15 \cdot K}$ |
| **Т-У-П-П** | $Q = 2 \cdot q \cdot F \sqrt{0{,}4 \cdot K}$ | **Т-У-У-У-П** | $Q = q \cdot F \cdot 0{,}06 \cdot K$ |

**8**. Из минимальных значений расхода воды для промывных ванн выбирают максимальное и округляют его в большую сторону до величины, кратной 10 л/ч.

**9**. Для каждой технологической операции выбирают схему промывки с расходом воды, близким (но не бóльшим) к полученному округлённому значению, и для всех промывных ванн с собственной подачей воды (чтобы одинаково отнормировать с помощью штуцеров с калиброванными отверстиями водопотребление для всех ванн и использовать только один водопроводный кран на всю линию) устанавливают одинаковый расход воды, равный полученному округлённому значению (см. п.8).

Рассмотрим ***пример расчёта*** расхода воды на промывку для рассматриваемой линии цинкования. В § 6.2 для этой линии было рассчитано количество только технологических ванн. Теперь определим количество и тип промывных ванн.

В соответствии с основными положениями и порядком выбора схем промывки в рассматриваемой линии предусматриваем после ванны электрохимического обезжиривания горячую промывку, перед активированием – холодную промывку и перед сушкой – тёплую промывку.

Рассчитываем концентрацию отмываемых компонентов ($c_0$) в технологических ваннах.

Электрохимическое обезжиривание. Пересчитаем максимальные концентрации компонентов электролита на NaOH:

$Э_{NaOH}$ = 40 г/моль, $Э_{Na_3PO_4 \cdot 12H_2O}$ = 126,71 г/моль, $Э_{Na_2CO_3}$ = 53 г/моль.

35 г/л NaOH ≡ 35 г/л NaOH

35 г/л $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ ≡ 11,05 г/л NaOH

35 г/л $Na_2CO_3$ ≡ 26,42 г/л NaOH

Итого: 72,47 г/л NaOH.

Активация. Пересчитаем максимальную концентрацию HCl на $H_2SO_4$:

$Э_{HCl}$ = 36,5 г/моль, $Э_{H_2SO_4}$ = 49 г/моль.

100 г/л HCl ≡ 134,25 г/л $H_2SO_4$.

Цинкование. Пересчитаем максимальную концентрацию $ZnCl_2$ на $Zn^{2+}$:

$М.м._{ZnCl_2}$ = 136,28; $А.м._{Zn}$ = 65,39.

120 г/л $ZnCl_2$ ≡ 57,58 г/л $Zn^{2+}$.

Осветление цинкового покрытия. Отмываемым веществом является компонент раствора – $HNO_3$, т.е.

30 г/л $HNO_3$ ≡ 30 г/л $HNO_3$.

Хроматирование цинкового покрытия. Пересчитаем максимальную концентрацию $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$ на $Cr^{6+}$:

$М.м._{Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O}$ = 278,00; $А.м._{Cr}$ = 52,00.

150 г/л $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$ ≡ 52,35 г/л $Cr^{6+}$.

Рассчитываем расход воды (Q) в каждую ванну с собственной подачей воды после каждой технологической операции по 18-ти схемам промывки, значения Q в л/ч округляем до целого и сводим полученные данные в таблицу.

Выбираем схемы промывки: после обезжиривания, активации и осветления – без уловителя, после цинкования и хроматирования с одним уловителем (затемнённые ячейки).

Минимальными значениями расхода воды являются после обезжиривания 21 л/ч, после активации 17 л/ч, после цинкования 20 л/ч, после осветления 8 л/ч и после хроматирования 26 л/ч.

Самым максимальным из минимальных является расход воды 26 л/ч в ванну 3КП после хроматирования. Округляем его в бóльшую сторону до величины, кратной 10 л/ч, то есть 26 л/ч →30 л/ч.

После остальных технологических операций выбираем схемы промывки с расходом воды в каждой ванне промывки с собственной подачей воды близким (но не бóльшим) к 30 л/ч (жирный шрифт):

после обезжиривания Тёпл. П (21 л/ч) – 2КП (21 л/ч) (с учётом п.2 и 3),

после активирования 3КП (17 л/ч),

после цинкования У-3КП (20 л/ч),

после осветления 2КП (19 л/ч),

после хроматирования У-2КП (26 л/ч) – Тёпл. П (26 л/ч) (с учётом п.3 и 2).

| Схема промывки | Расход воды Q, л/ч (F=7,67 м$^2$/ч) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Э/х обезжиривание ($q$=0,3 л/м$^2$, $c_0$=72,47 г/л, $c_п$=0,1 г/л) | Активация ($q$=0,2 л/м$^2$, $c_0$=134,25 г/л, $c_п$ =0,1 г/л) | Цинкование ($q$=0,2 л/м$^2$, $c_0$=57,58 г/л, $c_п$ =0,01 г/л) | Осветление ($q$=0,2 л/м$^2$, $c_0$=30 г/л, $c_п$ =0,2 г/л) | Хроматирование ($q$=0,3 л/м$^2$, $c_0$=52,35 г/л, $c_п$ =0,01 г/л) |
| Т-П | 1667 | 2060 | 8833 | 230 | 8030 |
| Т-П-П | 124 (по 62) | 113 (по 57) | 233 (по 116) | 38 (по 19) | 272 (по 136) |
| Т-П-П-П | 62 (по 21) | 51 (по 17) | 83 (по 28) | 24 (по 8) | 105 (по 35) |
| Т-2КП | 62 | 57 | 116 | **19** | 136 |
| Т-3КП | **21** | **17** | 28 | 8 | 35 |
| Т-П-2КП | 42 (**по 21**) | 34 (по 17) | 55 (по 28) | 16 (по 8) | 70 (по 35) |
| Т-2КП-П | 42 (**по 21**) | 34 (по 17) | 55 (по 28) | 16 (по 8) | 70 (по 35) |
| Т-У-П | 667 | 824 | 3533 | 92 | 3213 |
| Т-У-П-П | 78 (по 39) | 72 (по 36) | 147 (по 74) | 24 (по 12) | 172 (по 86) |
| Т-У-П-П-П | 46 (по 15) | 38 (по 13) | 61 (по 20) | 18 (по 6) | 78 (по 26) |
| Т-У-2КП | 39 | 36 | 74 | 12 | 86 |
| Т-У-3КП | 15 | 13 | **20** | 6 | **26** |
| Т-У-П-2КП | 30 (по 15) | 25 (по 13) | 41 (по 20) | 12 (по 6) | 52 (**по 26**) |
| Т-У-2КП-П | 30 (по 15) | 25 (по 13) | 41 (по 20) | 12 (по 6) | 52 (**по 26**) |
| Т-У-У-П | 250 | 309 | 1325 | 35 | 1205 |
| Т-У-У-П-П | 48 (по 24) | 44 (по 22) | 90 (по 45) | 15 (по 8) | 105 (по 53) |
| Т-У-У-2КП | 24 | 22 | 45 | 7 | 53 |
| Т-У-У-У-П | 100 | 124 | 530 | 14 | 482 |

Каждой ванне с собственной подачей воды присваиваем расход воды, равный ранее полученному округлённому максимальному из минимальных, то есть 30 л/ч:

после обезжиривания Тёпл.П (30 л/ч)–2КП (30 л/ч),

после активирования 2КП (30 л/ч),

после цинкования У–3КП (30 л/ч),

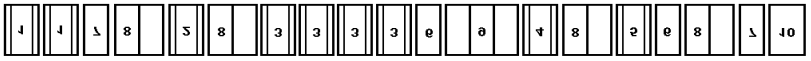
после осветления 2КП (30 л/ч),

после хроматирования У–2КП (30 л/ч)–Тёпл.П (30 л/ч).

Суммарный расход воды на промывку в рассматриваемой линии составляет:

*30 + 30 + 30 + 30 + 30 + 30 + 30 = 210* л/ч.

Теперь составляем окончательную компоновку линии цинкования, состоящую из следующих ванн: 1 – электрохимическое обезжиривание, 2 – активация, 3 – цинкование, 4 – осветление, 5 – пассивация, 6 – улавливание, 7 – тёплая промывка, 8 – холодная двухкаскадная промывка, 9 – холодная трёхкаскадная промывка, 10 – сушка.



### 9.4. Мероприятия по сокращению расхода воды

Система промывки считается рациональной в том случае, если она обеспечивает достижение требуемого качества промывки с наименьшими капитальными и эксплуатационными затратами при безопасных условиях труда и без экологического ущерба окружающей среде. Выше были описаны основные меры по рационализации систем промывок, заключающиеся в выборе наиболее оптимальной из одинарной и многоступенчатых прямоточных и противоточных (каскадных) ванн промывки. Как было отмечено, наиболее эффективными являются каскадные ванны промывки. Однако на практике увеличение количества или замена типа ванн промывки требует дополнительной производственной площади, кроме того это часто бывает связано с работами по значительной переделке металлоконструкции гальванической линии, трубопроводов, а также канализационной и вентиляционной систем.

Кроме подбора соответствующих ванн промывки можно предложить ряд мероприятий, осуществление которых не требует значительных дополнительных капитальных затрат, но которые существенно рационализируют имеющиеся в цехе системы промывки. К таким мероприятиям относятся сокращение выноса раствора из технологических ванн, подпитка технологических ванн водой из ванн улавливания, повторное использование промывной воды на других операциях промывки, использование воды из систем охлаждения или нагрева оборудования, интенсификация промывки.

***Сокращение выноса раствора*** из технологических ванн осуществляется за счёт: выбора оптимальных конструкций подвесок и барабанов, укрытие промежутков между технологическими и промывными ваннами козырьками, обеспечивающими стекание упавших капель растворов обратно в технологическую ванну; выдерживания деталей над поверхностью ванны максимально возможное время, а

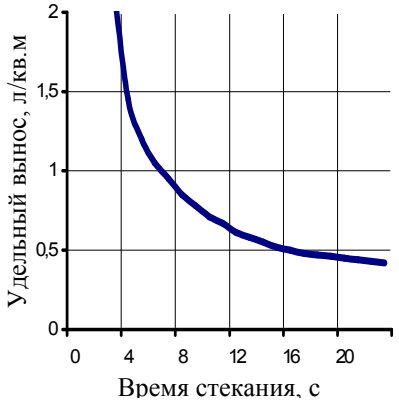



Рис. 9.3. Изменение удельного уноса раствора в зависимости от времени стекания

также применения обдува, встряхивания и т.п. Только увеличение времени выдержки деталей над ваннами с 4 до 16 с сокращает вынос раствора и расход воды на промывку в 3 раза (рис.9.3).

***Подпитка технологических ванн из ванн улавливания*** осуществляется по мере уменьшения объёма электролита в технологических ваннах вследствие испарения воды из нагретых электролитов. За счёт частичного возврата уловленных компонентов растворов в технологическую ванну уменьшается концентрация загрязнений в ванне улавливания и, соответственно, уменьшается концентрация загрязнений в сточной воде. В табл. 9.8 представлены ориентировочные значения скоростей испарения воды из ванн в зависимости от температуры раствора.

Таблица 9.8

Ориентировочные значения скоростей испарения воды из ванн при различных температурах раствора

| Температура раствора, °С | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Скорость испарения воды с 1 м$^2$ зеркала раствора, л/ч | 0,39 | 1,05 | 2,1 | 3,91 | 5,87 | 8,32 | 13,5 |

Эти данные можно использовать для расчётов водного баланса отдельных операций, так как ошибки в расчётах, возникающие из-за игнорирования влияния состава раствора на скорость испарения воды, на практике легко устранимы регулировкой скорости подачи воды, обеспечивающей поддержание постоянного уровня раствора в ванне. Подпитка осуществляется с помощью простейшего воздушного эрлифта, действие которого основано на захвате и подъёме воды сжатым воздухом, подаваемым в нижний конец вертикального участка трубопровода, подающего воду в ванну.

***Изменение последовательности промывных операций*** позволяет фактически увеличить количество промывных ванн за счёт того, что после технологической операции детали дополнительно промывают в ваннах промывки после предыдущей (рис.9.4 а), либо после последующей технологической операции (рис.9.4 б), либо и там и там (рис.9.4 в).

В первом и во втором случаях изменения последовательности промывки число прямоточных ступеней промывки фактически увеличивается на одну, в третьем – на две.

В первом случае в качестве рассматриваемой ($T_2$) технологической ванны могут служить ванны активирования (сокращение расхода воды в

**20 раз**), бесцианистого меднения и никелирования (расход воды снижается в **30 раз**). Во втором случае в качестве рассматриваемой ($Т_2$) технологической ванны могут служить ванны обезжиривания (расход воды снижается в **15 раз**), активирования (расход воды снижается в **15-20 раз**), цинкования и никелирования перед хромированием (расход воды снижается в **33 раза**). Третий случай применим для ванны никелирования перед хромированием (расход воды снижается в **100 раз**) и осветления цинковых и кадмиевых покрытий (расход воды снижается в **10 раз**). Таким образом, без каких-либо затрат можно в десятки раз сократить водопотребление только за счёт изменения маршрута движения деталей.

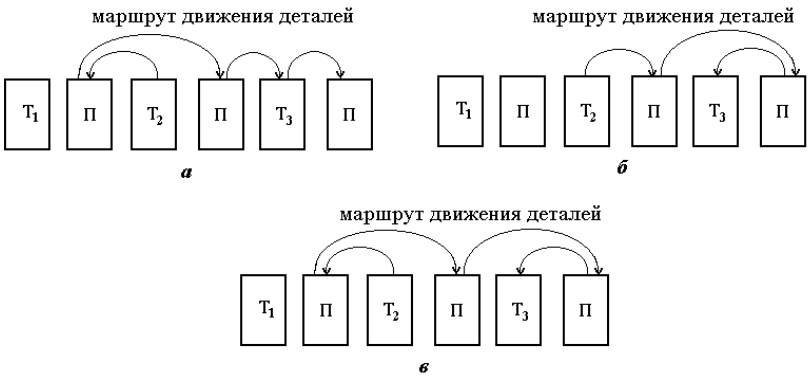



Рис. 9.4. Изменение последовательности промывных операций:
*а* – дополнительная промывка в ванне промывки после предыдущей технологической ванны, *б* – дополнительная промывка в ванне промывки после последующей технологической ванны, *в* – дополнительная промывка в ваннах промывки после предыдущей и после последующей технологических ванн, $Т_1$ – предыдущая, $Т_2$ – рассматриваемая, $Т_3$ – последующая технологические ванны, *П* – ванна промывки

Однако, так как при изменении последовательности промывок происходит смешение компонентов нескольких технологических ванн в одной промывной воде, то необходимо учитывать следующие ограничения:

– недопустимо после обработки в цианистых растворах детали промывать в ваннах промывки, используемых после технологических ванн с кислыми растворами и наоборот, в противном случае в атмосферу будет выделяться сильно токсичное вещество – цианистый водород;

– при раздельном обезвреживании кисло-щелочных и хромсо-

держащих стоков недопустимо после обработки в хромовых растворах детали промывать в ваннах промывки, используемых после технологических ванн, не содержащих соединения шестивалентного хрома, и наоборот, в противном случае соединения шестивалентного хрома попадут в кисло-щелочные стоки;

– следует исключать ухудшение качества обработки поверхности за счёт растравливания покрытий (например, осуществление дополнительной промывки по первой схеме деталей с цинковым покрытием в промывной ванне после активации может привести к некоторому подтравливанию покрытия), контактного выделения металлов (например, если после активации деталей из медных сплавов и активации стальных деталей дополнительная промывка осуществляется в одной промывной ванне, то в ней на стальных деталях будет происходить контактное выделение меди), осаждения на поверхности деталей малорастворимых соединений (например, осуществление дополнительной промывки деталей по первой схеме после кислого активирования в промывной ванне после щелочного обезжиривания с высоким содержанием силикатов может привести к образованию на поверхности деталей плёнки нерастворимой кремниевой кислоты, которая будет препятствовать дальнейшему нанесению покрытия) и т.п.;

– необходимо обеспечивать выдержку деталей над ваннами для исключения попадания капель промывной воды в технологические растворы при переносе деталей над технологическими ваннами по второй и третьей схемам, так как по этим схемам в ванне промывке после рассматриваемой технологической операции используется более загрязнённая промывная вода.

***Многократное использование промывной воды*** заключается в том, что промывная вода после основных операций используется в ваннах промывки после подготовительных операций по схеме на рис. 9.5. Вода перекачивается из ванны в ванну либо с помощью воздушных эрлифтов (вариант "А"), либо переливается самотёком при объединении ванн по схеме сообщающихся сосудов с помощью обводного трубопровода из гибкого шланга (вариант "Б"). Вода подаётся в ванну промывки после основной ванны нанесения покрытия $T_3$ (цинкования, кадмирования, меднения, никелирования, оловянирования, нанесения сплавов, фосфатирования, оксидирования и анодирования), затем промывная вода последовательно проходит через ванны промывки после подготови-

тельных операций $T_2$ и $T_1$ (активирования, обезжиривания, осветления и травления алюминия), после чего сбрасывается на очистные сооружения. Общий расход воды определяется потреблением воды на промывку после ванн нанесения покрытий, экономия составляет сумму расходов промывной воды после обезжиривания и активирования для нанесения гальванических покрытий – до 700 л/м$^2$ и после травления и осветления при анодировании алюминия – до 1500 л/м$^2$.

Представленная на рис. 9.5 схема представляет собой частичный водооборот: вода, использованная в одной промывной ванне, без очистки направляется на промывку в другую ванну и далее в третью, т.е. вода используется хотя всего три раза, но зато без очистки и без подпитки, что требуется для классического водооборота.

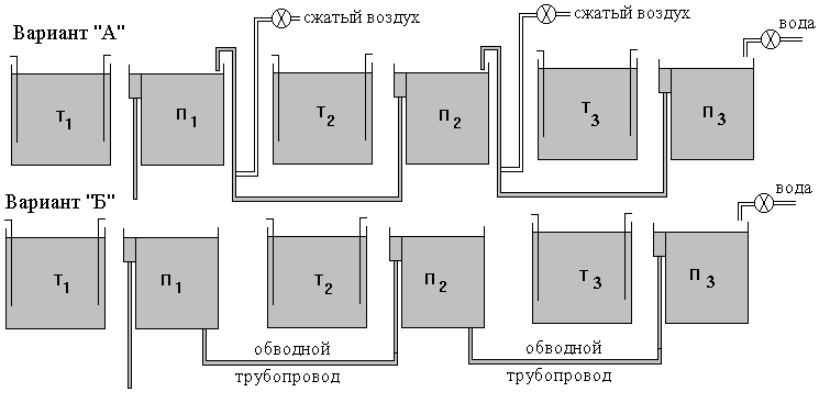



Рис. 9.5. Схема многократного использования промывной воды (частичный водооборот): $T_1$ и $T_2$ – ванны подготовительных операций, $T_3$ – ванна основной операции нанесения покрытия, П – ванны промывки:

вариант обвязки ванн промывки "А" – перекачка промывной воды с помощью эрлифта;

вариант обвязки ванн промывки "Б" – соединение промывных ванн по схеме сообщающихся сосудов

Многократное использование промывной воды на большинстве гальванических линий по приведённой схеме позволяет снизить расход воды в 1,5–2 раза.

На практике, когда во все ванны вода льётся одинаково и без регулировки, сокращение расхода воды достигается ровно в 3 раза: из трёх водопроводных кранов закрываются два. При этом требуется проведе-

ние лишь незначительных работ по изменению обвязки трубопроводов на ваннах промывки.

Как и в случае изменения последовательности промывочных операций применение схемы многократного использования промывной воды требует учитывать ограничения как по недопустимости смешения цианистых и хромовых с остальными стоками, так и по исключению ухудшения качества обработки поверхности за счёт растравливания покрытий, контактного выделение металлов или осаждения на поверхности деталей малорастворимых соединений и т.п., что может произойти при смешении кислых и щелочных вод от разных процессов.

Дополнительно в вышеуказанным ограничениям в случае применения схемы многократного использования промывной воды необходимо учитывать влияние на работоспособность технологических растворов посторонних примесей. Например, при объединении промывных ванн после обезжиривания, активации, никелирования и оловянирования в линии нанесения оловянного покрытия на латунные детали промывная вода после оловянирования, загрязненная соединениями олова, будет использоваться для промывки деталей перед никелированием. В этом случае соединения олова с деталями попадут в ванну никелирования, отрицательно повлияв на её работоспособность.

***Использование воды из систем охлаждения и нагревания***. В случае отсутствия на предприятии оборотного водоснабжения в системах охлаждения и нагрева (парового или водяного) целесообразно использовать на промывных операциях воду после охлаждения выпрямителей, ванн анодирования, хромирования и т.д. и горячую воду, использованную для нагревания ванн промывки, обезжиривания, хромирования, никелирования и т.д. При нагреве ванн паром образующийся конденсат лучше использовать для приготовления или корректировки технологических растворов.

***Интенсификация промывки.*** Продолжительность промывки деталей на подвесках в спокойной воде должна составлять порядка 100 с, что определяется скоростью диффузии отмываемых компонентов электролитов в воде. Продолжительность промывки барабанов при частоте вращения не менее 10 об/мин должна составлять не менее 60 с при глубине погружения барабана 62% и не менее 90 с при глубине погружения 82%.

Однако минимальная продолжительность операции промывки в

соответствии с ГОСТ 9.305-84 составляет 20 с, что явно мало. При недостаточном времени промывки для обеспечения качественной промывки потребуется большая интенсивность подачи воды, чем это требуется по расчёту по формуле (9.1), т.е. возникнет перерасход промывной воды. Для исключения этого, т.е. фактически для сокращения потребляемого количества воды, рекомендуется интенсифицировать операцию промывки.

Ванны промывки деталей на подвесках с целью интенсификации процесса должны быть оборудованы перемешивающими устройствами, предпочтительно барботажного типа. Промывать барабаны рекомендуется путём не менее чем двукратного погружения вращающегося барабана в ванну промывки на 10-15 с и выдержкой его над ванной до полного стекания жидкости.

### 9.5. Расчёт концентрации веществ в промывных и сточных водах

Концентрация веществ в промывных и сточных водах имеет значение для организации последующих систем очистки сбрасываемой воды. Промывными водами называют сбрасываемую из промывных ванн воду после какой-либо одной технологической ванны; сточные воды являются суммарным сбросом промывных вод из ванн промывки после нескольких технологических ванн, объединённых либо по месту расположения (линия, участок, отделение, цех), либо по типу содержащихся в них веществ (хромсодержащие, фторсодержащие, цианистые и прочие сточные воды). Состав промывных вод определяет тип и параметры локальных систем очистки, состав сточных вод – тип и параметры общих очистных сооружений. Особое значение имеет величина концентрации отмываемых веществ в непроточных ваннах промывки – она определяет периодичность замены воды.

***Если промывка осуществляется только в ваннах проточной промывки*** (в отсутствии ванн улавливания), то в общем случае концентрация отмываемых веществ $c_к$ (г/л) определяется отношением скорости приноса компонентов раствора из технологических ванн $m$ (г/ч) к расходу промывной воды $Q$ (л/ч):

$$c_к = m/Q \qquad (9.2)$$

При определении концентрации какого-либо вещества в промывной воде $c_{пр.в.}$(г/л) *после одинарной и после каскадной ванн промывки* величина скорости приноса его пропорциональна удельному уносу рас-

твора из предыдущей технологической ванны $m=q \cdot F \cdot c_o$, а расход воды соответствует расходу воды на промывку после конкретной технологической ванны по формуле (9.1):

$$c_{пр.в.} = \frac{m}{Q} = \frac{q \cdot F \cdot c_o}{Q} \qquad (9.3)$$

При определении концентрации какого-либо вещества в промывной воде $c_{пр.в.}$(г/л) *после каждой ступени прямоточной промывки* используют следующие формулы:

после первой ступени $$c_{пр.в.1} = \frac{q \cdot F \cdot c_o}{Q_1 + q \cdot F} \qquad (9.4)$$

после второй ступени $$c_{пр.в.2} = \frac{q \cdot F \cdot c_{пр.в.1}}{Q_2 + q \cdot F} \qquad (9.5)$$

и так далее.

При определении концентрации какого-либо вещества в сточной воде в формулу (9.2) подставляют суммарный вынос этого вещества из всех технологических ванн, где это вещество присутствует, и суммарный расход воды на промывку для соответствующего участка (цеха) или типа растворов (кисло-щелочных, хромсодержащих, цианистых и т.п.):

$$c_{ст.в.} = \Sigma m_i / \Sigma Q.$$

***Если промывка осуществляется только в ваннах непроточной промывки***, то расход воды и концентрация загрязнений с промывной воде определяется частотой смены загрязнённой промывной воды на свежую. Момент самой смены воды определяется достижением в последней по ходу движения деталей ванне непроточной промывки предельно допустимой концентрации отмываемого компонента.

Изменение концентрации ингредиентов в ваннах промывки в период её работы между сменой воды (непроточный режим работы) описывается экспоненциальной зависимостью, характеризующей нестационарный режим работы ванны. Для непроточных ванн (улавливание с периодическим сбросом) концентрация веществ в промывной воде „n"-й ванны промывки определяется по следующей формуле:

$$c_n = c_o \left[ 1 - e^{-\frac{qF\tau}{V}} - \sum_{n=2}^{n} \frac{1}{(n-1)!} \cdot \left( \frac{qF\tau}{V} \right)^{n-1} \cdot e^{-\frac{qF\tau}{V}} \right] \qquad (9.6)$$

По формуле (9.6) можно определить время $\tau$, в течение которого в

последней ванне непроточной промывки концентрация отмываемого вещества достигнет предельной величины, т.е. определить продолжительность непроточного режима промывки, по прошествии которого необходима смена воды. По найденному значению $\tau$ по формуле 9.6 находят величину концентрации загрязнений в предыдущих ванна непроточной промывки. Однако, для каждого конкретного случая производить расчёт по такой сложной формуле не надо. Вместо этого предлагается следующий порядок расчёта продолжительности непроточного режима работы ванн промывки.

В табл. 9.9-9.10 представлены расчётные величины концентраций загрязнений в ваннах непроточной промывки и продолжительности непроточного режима работы соответственно двух и трёх ванн промывки в зависимости от концентрации компонентов в технологической ванне ($c_o$) для наиболее часто встречающихся величин предельной концентрации отмываемых компонентов ($c_n$).

Объём ванн промывки составляет по 1000 л при производительности технологической ванны 1 м$^2$/ч и удельном выносе раствора 0,2 л/м$^2$.

Часовой расход воды на промывку рассчитан делением суммарного объёма ванн промывки на продолжительность непроточного режима.

Если практические условия ($c_o$, $V_{пр}$, $F$, $q$) не совпадают с вышеуказанными, то в этом случае табличные значения корректируют на реальные условия по следующей формуле:

$$\tau = \tau_{табл.} \cdot \frac{V_{пр.}}{V_{пр.\ табл.}} \cdot \frac{q_{табл.}}{q} \cdot \frac{F_{табл.}}{F} \qquad (9.7)$$

***Пример***. После цианистого цинкования (концентрация циан-инов в электролите $c_o$=50 г/л, предельная концентрация циан-ионов при промывке $c_n$=0,01 г/л, удельный вынос электролита из ванны цианистого цинкования $q$=0,3 л/м$^2$ производительность ванны цинкования 1,5 м$^2$/ч) детали промывают в трёх ваннах непроточной промывки объёмом по 700 л.

Необходимо определить концентрацию загрязнений в промывных водах, сбрасываемых из трёх ванн непроточной промывки после замены в них воды.

В табл. 9.10 по концентрации отмываемого компонента (циан-ионов) находим табличную величину продолжительности непроточного режима работы ванн промывки $\tau_{табл.}$=*544* ч и по формуле 9.7 получаем:

$$544 \cdot \frac{700}{1000} \cdot \frac{0,2}{0,3} \cdot \frac{1}{1,5} = 169 \text{ ч.}$$

Следовательно, через каждые 169 часов работы будут образовываться 700 л загрязнённой воды с концентрацией циан-ионов 5,16 г/л (см. табл. 9.10), 700 л загрязнённой воды с концентрацией циан-ионов 0,28 г/л и 700 л загрязнённой воды с концентрацией циан-ионов 0,01 г/л.

Всего образуется 2100 л загрязнённой воды с концентрацией циан-ионов

$$\frac{5{,}16 \cdot 700 + 0{,}28 \cdot 700 + 0{,}01 \cdot 700}{2100} = 1{,}82\ г/л$$

Таблица 9.9

Продолжительность непроточного режима работы **двух** ванн промывки
$F$=1 м$^2$/ч, $V_{пр}$=1000 л, $q$=0,2 л/м$^2$

| Концентрация отмываемого компонента, г/л | | Продолжительность непроточного периода, $\tau_{табл}$ | | Расход воды на промывку, л/ч | Концентрация отмываемого компонента, г/л | | Продолжительность непроточного периода, $\tau_{табл}$ | | Расход воды на промывку, л/ч |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| в технологической ванне, $c_0$ | в 1-ой ванне промывки, $c_1$ | часов | смен (7 ч) | | в технологической ванне, $c_0$ | в 1-ой ванне промывки, $c_1$ | часов | смен (7 ч) | |
| во второй ванне $c_2 = c_n$ = **0,01 г/л** | | | | | во второй ванне $c_2 = c_n$ = **0,02 г/л** | | | | |
| 10 | 0,44 | 226 | 32 | 8,8 | 10 | 0,62 | 322 | 46 | 6,2 |
| 20 | 0,63 | 159 | 22 | 12,6 | 20 | 0,89 | 226 | 32 | 8,8 |
| 30 | 0,77 | 130 | 18 | 15,4 | 30 | 1,09 | 184 | 26 | 10,8 |
| 40 | 0,89 | 112 | 16 | 17,8 | 40 | 1,26 | 160 | 22 | 12,6 |
| 50 | 1,00 | 100 | 14 | 20 | 50 | 1,41 | 142 | 20 | 14,0 |
| 60 | 1,10 | 91 | 13 | 21,8 | 60 | 1,54 | 130 | 18 | 15,4 |
| 70 | 1,18 | 85 | 12 | 23,6 | 70 | 1,66 | 120 | 17 | 16,6 |
| 80 | 1,26 | 79 | 11 | 25,4 | 80 | 1,78 | 112 | 16 | 17,8 |
| 90 | 1,34 | 75 | 10 | 26,6 | 90 | 1,89 | 106 | 15 | 18,8 |
| 100 | 1,41 | 71 | 10 | 28,2 | 100 | 1,99 | 100 | 14 | 20 |
| 110 | 1,47 | 67 | 9 | 29,8 | 110 | 2,09 | 96 | 13 | 20,8 |
| 120 | 1,54 | 65 | 9 | 30,8 | 120 | 2,18 | 92 | 13 | 21,8 |
| 130 | 1,60 | 62 | 8 | 32,2 | 130 | 2,27 | 88 | 12 | 22,8 |
| 140 | 1,66 | 60 | 8 | 33,4 | 140 | 2,35 | 85 | 12 | 23,6 |
| 150 | 1,72 | 58 | 8 | 34,4 | 150 | 2,44 | 82 | 11 | 24,4 |

Таким образом, в рассматриваемом примере смена воды в трёх ваннах промывки должна осуществляться 1 раз в 169 ч, т.е. при односменной работе цеха примерно 1 раз в месяц. Условно часовой расход воды составит 3·700/169=12,4 л/ч. И при этом не нужно никаких расходомеров, никакой регулирующей запорной аппаратуры, никакого контроля за расходом воды – раз в месяц заменили воду в ваннах и всё! Даже при наличии контрольно-

регулировочной аппаратуры обеспечить точную величину малого расхода воды весьма проблематично, особенно в условиях постоянно меняющегося давления в подающем водопроводе.

Для сравнения, расход воды на промывку в проточной трёхступенчатой ванне прямоточной промывки составит 23 л/ч, а в трёхступенчатой (трёхкаскадной) ванне противоточной промывки – 7,7 л/ч.

Таблица 9.10

Продолжительность непроточного режима работы **трёх** ванн промывки
$F$=1 м$^2$/ч, $V_{пр}$=1000 л, $q$=0,2 л/м$^2$

| Концентрация отмываемого вещества, г/л | | | Продолжительность непроточного периода, $\tau_{табл.}$ | | Расход воды на промывку, л/ч | Концентрация отмываемого вещества, г/л | | | Продолжительность непроточного периода, $\tau_{табл.}$ | | Расход воды на промывку, л/ч |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| в технологической ванне $c_o$ | в ваннах промывки | | | | | в технологической ванне $c_o$ | в ваннах промывки | | | | |
| | в 1-й, $c_1$ | во 2-ой, $c_2$ | часов | смен (7 ч) | | | в 1-й, $c_1$ | во 2-ой, $c_2$ | часов | смен (7 ч) | |
| в третьей ванне $c_3$=$c_н$= **0,01 г/л** | | | | | | в третьей ванне $c_3$=$c_н$= **0,02 г/л** | | | | | |
| 10 | 1,73 | 0,16 | 950 | 135 | 3,3 | 10 | 2,16 | 0,25 | 1214 | 173 | 2,4 |
| 20 | 2,77 | 0,20 | 746 | 106 | 3,9 | 20 | 3,46 | 0,32 | 951 | 135 | 3,3 |
| 30 | 3,65 | 0,23 | 649 | 92 | 4,5 | 30 | 4,57 | 0,37 | 826 | 118 | 3,6 |
| 40 | 4,43 | 0,26 | 587 | 83 | 5,1 | 40 | 5,55 | 0,41 | 747 | 106 | 3,9 |
| 50 | 5,16 | 0,28 | 544 | 77 | 5,4 | 50 | 6,46 | 0,44 | 692 | 98 | 4,2 |
| 60 | 5,83 | 0,29 | 511 | 73 | 6,0 | 60 | 7,31 | 0,47 | 650 | 92 | 4,5 |
| 70 | 6,47 | 0,31 | 485 | 69 | 6,3 | 70 | 8,12 | 0,49 | 616 | 88 | 4,8 |
| 80 | 7,08 | 0,32 | 463 | 66 | 6,6 | 80 | 8,88 | 0,51 | 589 | 84 | 5,1 |
| 90 | 7,67 | 0,34 | 445 | 63 | 6,6 | 90 | 9,62 | 0,53 | 565 | 80 | 5,4 |
| 100 | 8,23 | 0,35 | 430 | 61 | 6,9 | 100 | 10,33 | 0,55 | 545 | 77 | 5,4 |
| 110 | 8,78 | 0,36 | 416 | 59 | 7,2 | 110 | 11,02 | 0,57 | 528 | 75 | 5,7 |
| 120 | 9,31 | 0,37 | 404 | 57 | 7,5 | 120 | 11,68 | 0,59 | 512 | 73 | 6,0 |
| 130 | 9,82 | 0,38 | 393 | 56 | 7,5 | 130 | 12,33 | 0,60 | 498 | 71 | 6,0 |
| 140 | 10,32 | 0,39 | 383 | 54 | 7,8 | 140 | 12,96 | 0,62 | 486 | 69 | 6,3 |
| 150 | 10,81 | 0,40 | 374 | 53 | 8,1 | 150 | 13,58 | 0,63 | 475 | 67 | 6,3 |

Продолжительность непроточного режима повышается при увеличении числа ванн улавливания: при промывке в двух ваннах улавливания продолжительность непроточного периода составляет от нескольких суток до нескольких недель, при промывке в трёх ваннах улавливания – от нескольких недель до нескольких месяцев, а при промывке в четырёх ваннах улавливания – от нескольких месяцев до нескольких кварталов.

Кроме того, продолжительность непроточного режима повышается при увеличении объёма и количества ванн улавливания и уменьшается с ростом величины удельного выноса электролита (с усложнением профиля деталей) и производительности ванн. Например, при промывке деталей после блестящего никелирования на подвесках производительностью $F$=3 м$^2$/ч (удельный вынос электролита $q$=0,2 л/м$^2$, концентрация по $Ni^{2+}$ $c_o$=60 г/л или 270 г/л $NiSO_4 \cdot 7H_2O$) в двух ваннах улавливания объёмом по 800 л (предельная концентрация никеля в последней ванне улавливания составляет $c_n$= 0,01 г/л) продолжительность непроточного режима составляет 24 ч (3 смены), а в случае промывки в семи ваннах улавливания продолжительность непроточного режима составляет 1493 ч, что соответствует 180 сменам или более чем 8 месяцам односменной работы.

Если снизить производительность никелирования до 2 м$^2$/ч, то продолжительность непроточного режима работы семи непроточных ванн составит 2238 ч (273 смены или более года односменной работы), т.е. в данном случае только через год (**!**) работы потребуется замена семи ванн промывки общим объёмом 5,6 м$^3$.

Следует отметить, что если технологическая ванна, после которой осуществляется промывка только в непроточных ваннах, работает с подогревом электролита, то нормируемое водопотребление в нескольких непроточных ваннах промывки позволяет организовать бессточную операцию за счёт подбора такого количества ванн непроточной промывки, которое обеспечивало бы равенство объёмов водопотребления и испарения жидкости из технологической ванны. В этом случае обеспечивается полный возврат промывной воды в технологическую ванну для восполнения потерь от испарения электролита. Например, промывка в четырёх ваннах улавливания обеспечивает бессточную операцию никелирования деталей на подвесках при температуре электролита 50 °С и производительности 3 м$^2$/ч со следующими параметрами: удельный вынос электролита $q$=0,2 л/м$^2$, концентрация по $Ni^{2+}$ $c_o$=60 г/л или 270 г/л $NiSO_4 \cdot 7H_2O$. На рис. 9.6 представлен пример материального баланса бессточной операции никелирования. Из рис. 9.6 видно, что через 353 ч (более 2-х месяцев односменной работы) промывная вода из первой ванны улавливания сливается в сборник для подкисления и последующей корректировки уровня электролита в технологической ванне, из второй ванны улавливания вода переливается в первую ванну, из треть-

ей – во вторую и т.д., в последнюю ванну улавливания заливается дистиллированная вода или конденсат.

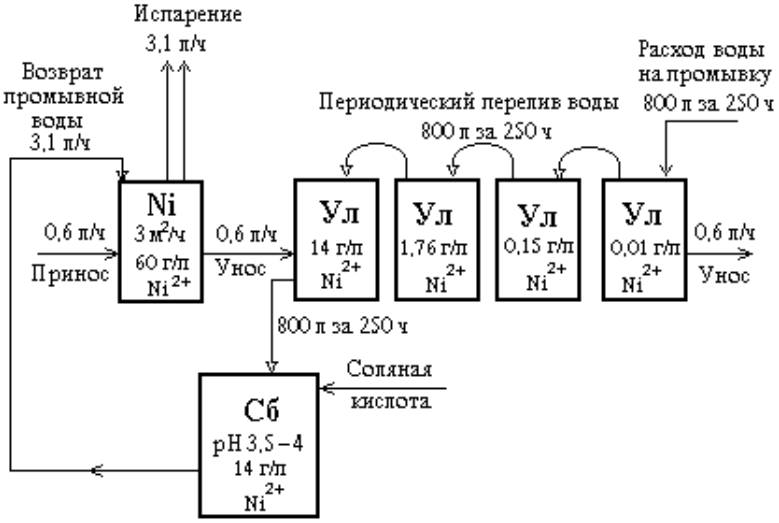



Рис.9.6. Материальный баланс бессточной операции никелирования (ванна никелирования с внутренними размерами 1500x1000x1000 мм и рабочим объёмом 1300 л): **Ni** - ванна никелирования (3 $м^2$/ч), **Ул** - ванны промывки (с внутренними размерами 1200x700x1000 мм и рабочим объёмом по 800 л), работающие в периодически непроточном режиме, **Сб** - сборник промывной воды

Возможно использовать схему бессточной промывки без установки сборника: по мере уменьшения уровня электролита в технологической ванне в неё доливают воду из первой ванны улавливания, куда столько же воды доливают из второй ванны улавливания и т.д. Для того, чтобы в рассматриваемых условиях обеспечить бессточную промывку с помощью только трёх ванн улавливания, необходимо в одной ванне улавливания подогревать воду до 60 °С.

Представленная схема бессточной операции не является универсальной – конкретное воплощение схемы зависит от производительности технологической ванны, объёма ванн улавливания, площади зеркала раствора, концентрации и температуры электролита, сложности профиля обрабатываемых деталей, температуры и влажности окружающего воздуха, эффективности работы бортовых отсосов, времени выдержки

деталей над технологической ванной, продолжительности и интенсивности промывки.

Таким образом, можно сделать следующий вывод о назначении ванн с периодически непроточным режимом работы (уловителей). Ванны улавливания предназначены для:

– улавливания ценных и высокотоксичных компонентов (драгоценные металлы, соединения хрома (VI), никеля, меди и т.п.) для их утилизации или обезвреживания;

– подпитки ванн с технологическими растворами, работающими при повышенной температуре, что одновременно позволяет осуществлять частичный возврат компонентов растворов в технологическую ванну;

– сокращения расхода воды на промывку за счёт уменьшения уноса компонентов технологических растворов в промывные воды;

– организации бессточных операций;

– организации нормированного водопотребления, особенно при небольших расходах воды без применения контрольно-регулирующей аппаратуры.

***Если промывка осуществляется в ваннах проточной промывки с одной ванной улавливания***, то при определении концентрации какого-либо вещества в *промывной* воде по формуле (9.3) необходимо из количества вещества, уносимого из технологической ванны $m=q\cdot F\cdot c_O$, вычесть количество вещества, накапливающегося в ванне улавливания. Для приближённого расчёта концентрации компонентов электролита в промывной воде при устоявшейся работе ванны улавливания можно принять, что в ванне улавливания задерживается 60%, а уносится в последующие проточные ванны промывки 40% от массы вынесенных из технологической ванны компонентов (как и в случае расчёта расхода воды на промывку при наличии ванны улавливания). Тогда формула примет упрощённый вид:

$$c_{пр.в.}=\frac{q\cdot F\cdot c_o\cdot 0{,}4}{Q} \qquad (9.8)$$

При достижении концентрации веществ в ванне улавливания половинной концентрации компонентов технологического раствора воду из уловителя необходимо сменить на свежую.

*Периодичность смены* воды в ванне улавливания определяется по формуле:

$$S_{см} = 0{,}693 \cdot V / q, \qquad (9.9)$$

где $S_{см}$ – площадь поверхности деталей, после обработки которых необходимо воду сменить, м$^2$; $V$ – объём ванны улавливания, л; $q$ – удельный унос растворов, л/м$^2$.

Можно организовать работу ванны улавливания *без смены в ней воды*. Если изменить последовательность промывки, то можно не только вообще не контролировать концентрацию веществ в ванне улавливания или величину площади обработанных деталей, но и исключить необходимость в сбросе и нейтрализации отработанной воды.

Предлагаемый способ заключается в двукратном окунании деталей в ванну улавливания – первый раз перед обработкой (ход **1**), а второй раз после обработки в технологической ванне (ход **3**) по схеме, представленной на рис. 9.7.

Отмываемые компоненты уносятся из ванны улавливания два раза, а приносятся в неё один раз, вследствие чего концентрация отмываемых компонентов в ванне улавливания экспоненциально стремиться к поло-

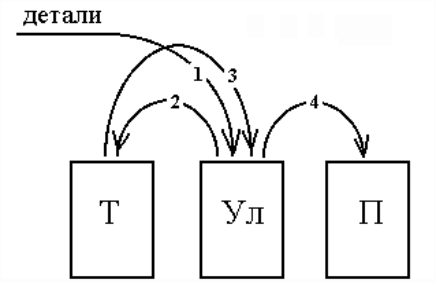



Рис. 9.7. Измененная схема использования ванны улавливания:
Т – технологическая ванна,
Ул – ванна улавливания,
П – ванна промывки

вине концентрации компонентов в технологическом растворе (рис. 9.8 кр. **2**). При традиционной последовательности движения деталей (слева направо последовательно по ваннам Т, Ул и П) концентрация веществ в ванне улавливания экспоненциально стремиться к концентрации компонентов в технологическом растворе (рис. 9.8. кр. **1**). Таким образом, по сравнению со схемой промывки без уловителя унос отмываемых компонентов в последующие проточные промывные ванны, потери хи-

микатов и затраты на очистку сточных вод, а также загрязнённость сточных вод или расход воды на промывку сокращается более чем в 2 раза.

Этот способ использования ванны улавливания особенно ценен для сокращения в 2 раза уноса в промывные воды тех компонентов технологических растворов, обезвреживание которых весьма затруднительно, например, нитратов, нитритов, фосфатов, аммония, сульфатов, хлоридов и т.п.

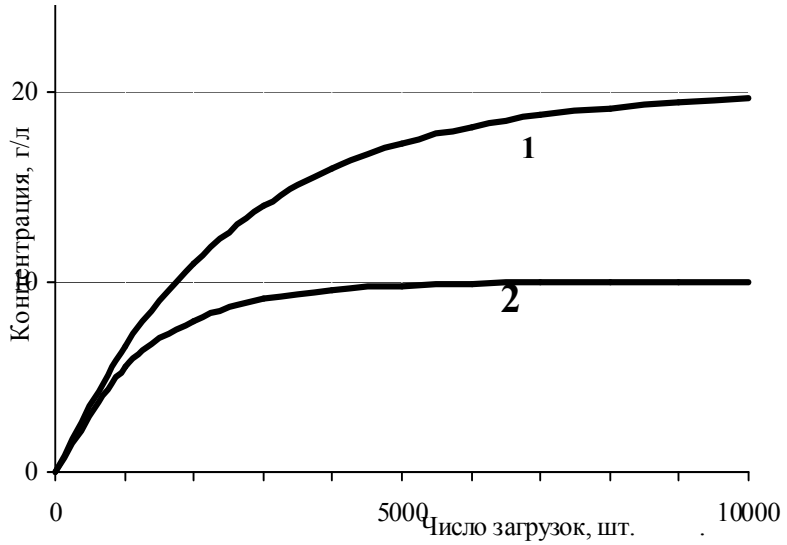



Рис. 9.8. Рост концентрации отмываемых веществ в ванне улавливания объёмом 1000 л ($c_o$= 20 г/л)

Кроме того, изменённая последовательность существенно облегчает обслуживание барабанных линий, когда вынос раствора из технологической ванны весьма значителен, и в ванне улавливания очень быстро достигается половинная концентрация компонентов технологического раствора, что при традиционной последовательности движения деталей требует частой смены воды в уловителе.

Следует отметить, что расчёты по приведённым в данной главе формулам (9.1)–(9.9) будут достаточно точными при следующих условиях: загрузки поступают ритмично, удельный вынос раствора с поверхностью деталей постоянен, расход воды на промывку деталей по-

стоянен.

Рассмотрим ***пример расчёта*** концентраций веществ в сточных водах от рассчитанной в § 6.2 линии цинкования.

Так как в составе линии имеется ванна с хромсодержащим раствором (ванна хроматирования цинкового покрытия), то от рассматриваемой линии должны формироваться два вида стоков: кисло-щелочной и хромсодержащий. Часовой объём кисло-щелочного стока составляет 150 л/ч, часовой объём хромсодержащего стока – 60 л/ч.

1) Рассчитываем концентрацию веществ в сточных водах по формуле 9.3.

Кисло-щелочной сток (*F=7,67* м$^2$/ч; *Q=150 л/ч*):

концентрация NaOH (*q=0,3 л/м$^2$; $c_O$=35 г/л)*

$$c_{ст.в.} = \frac{0,3 \cdot 7,67 \cdot 35}{150} = 0,537\ г / л$$

концентрация $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ (*q=0,3 л/м$^2$; $c_O$=35 г/л*)

$$c_{ст.в.} = \frac{0,3 \cdot 7,67 \cdot 35}{150} = 0,537\ г / л$$

концентрация $Na_2CO_3$ (*q=0,3 л/м$^2$; $c_O$=35 г/л*)

$$c_{ст.в.} = \frac{0,3 \cdot 7,67 \cdot 35}{150} = 0,537\ г / л$$

концентрация синтамида-5 (*q=0,3 л/м$^2$; $c_O$=3 г/л*)

$$c_{ст.в.} = \frac{0,3 \cdot 7,67 \cdot 3}{150} = 0,046\ г / л$$

концентрация HCl (*q=0,2 л/м$^2$; $c_O$=100 г/л*)

$$c_{ст.в.} = \frac{0,2 \cdot 7,67 \cdot 100}{150} = 1,023\ г / л$$

концентрация $ZnCl_2$ (*q=0,2 л/м$^2$; $c_O$=120 г/л*)

$$c_{ст.в.} = \frac{0,2 \cdot 7,67 \cdot 120}{150} = 1,227\ г / л$$

в т.ч. концентрация $Zn^{2+}$ (*q=0,2 л/м$^2$; $c_O$=58 г/л*)

$$c_{ст.в.} = \frac{0,2 \cdot 7,67 \cdot 58}{150} = 0,593\ г / л$$

концентрация KCl (*q=0,2 л/м$^2$; $c_O$=220 г/л*)

$$c_{ст.в.} = \frac{0,2 \cdot 7,67 \cdot 220}{150} = 2,250\ г / л$$

концентрация $H_3BO_3$ (*q=0,2 л/м$^2$; $c_O$=25 г/л*)

$$c_{ст.в.} = \frac{0,2 \cdot 7,67 \cdot 25}{150} = 0,256\ г/л$$

концентрация ЦКН-3 ($q=0,2$ л/м$^2$; $c_O=50$ мл/л)

$$c_{ст.в.} = \frac{0,2 \cdot 7,67 \cdot 50}{150} = 0,511\ мл/л$$

концентрация $HNO_3$ ($q=0,2$ л/м$^2$; $c_O=30$ г/л)

$$c_{ст.в.} = \frac{0,2 \cdot 7,67 \cdot 30}{150} = 0,307\ г/л$$

Хромсодержащий сток ($F=7,67$ м$^2$/ч; $Q=60$ л/ч):

концентрация $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$ ($q=0,3$ л/м$^2$; $c_O=150$ г/л; $\alpha=0,4$)

$$c_{ст.в.} = \frac{0,3 \cdot 7,67 \cdot 150 \cdot 0,4}{60} = 2,301\ г/л$$

в т.ч. концентрация $Cr^{6+}$ ($q=0,3$ л/м$^2$; $c_O=52$ г/л; $\alpha=0,4$)

$$c_{ст.в.} = \frac{0,3 \cdot 7,67 \cdot 52 \cdot 0,4}{60} = 0,798\ г/л$$

концентрация $H_2SO_4$ ($q=0,3$ л/м$^2$; $c_O=10$ г/л; $\alpha=0,4$)

$$c_{ст.в.} = \frac{0,3 \cdot 7,67 \cdot 10 \cdot 0,4}{60} = 0,153\ г/л$$

2) Рассчитываем периодичность сброса загрязнённой воды из ванн улавливания объёмом по 620 л по формуле 9.9:

– после ванны цинкования: $S_{см} = 0,693 \cdot 620 : 0,2 = 2148,4$ (м$^2$), что при производительности линии 7,67 м$^2$/ч составляет 280 ч, т.е. через каждые 280 часов необходимо сливать на переработку 620 л воды из ванны улавливания, представляющую собой в 2 раза разбавленный электролит цинкования:

$ZnCl_2$ 60 г/л
KCl 110 г/л
$H_3BO_3$ 13 г/л
добавка ЦКН-3 25 мл/л;

– после ванны хроматирования: $S_{см} = 0,693 \cdot 620 : 0,3 = 1432,2$ (м$^2$), что при производительности линии 7,67 м$^2$/ч составляет 187 ч, т.е. через каждые 187 часов необходимо сливать на переработку 620 л воды из ванны улавливания, представляющую собой в 2 раза разбавленный раствор хроматирования:

$Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$ 75 г/л;
$H_2SO_4$ 5 г/л.

## 10. Организация производства и планировочные решения

Организация гальванического производства должна обеспечивать ритмичный выпуск продукции в запланированных объёмах и номенклатуре с заданными технико-экономическими показателями путём наиболее полного и рационального использования производственных фондов цеха, рационального и безопасного использования труда работающих, обеспечения рационального движения обрабатываемых деталей и рационального использования материально-энергетических ресурсов.

В состав цеха металлопокрытий входят основные производственные отделения, вспомогательные и технические участки и службы, количество которых зависит от характера и масштабов производства.

К *основным* относятся следующие подразделения цеха (участка): подготовки и нанесения покрытий в автоматах, механизированных линиях и стационарных ваннах; шлифования и полирования; дробеструйной или гидропескоструйной очистки; обезжиривания в органических растворителях и ультразвукового обезжиривания; нанесения покрытий драгоценными металлами; обработки длинномерных труб (волноводов); химического никелирования, химического и электрохимического фрезерования; монтажа и демонтажа деталей.

К *вспомогательным* относятся следующие подразделения цеха: приготовления растворов; хранения цианистых соединений и приготовления цианистых растворов; аварийного слива и фильтрации растворов; участок регенерации драгоценных металлов; помещения для ультразвуковых генераторов, выпрямителей и командоаппаратов; участок изготовления, ремонта и изоляции подвесок; вентиляционные камеры; насосная; кладовые кислот, химикатов, вспомогательных материалов, поступающих и готовых деталей; экспресс-лаборатория.

К *техническим* относят следующие подразделения: бюро технического нормирования; планово-диспетчерское бюро; отдел технического контроля (ОТК); технологическое бюро.

### 10.1. Требования к производственным помещениям цеха и размещение последних

В цеха металлопокрытий детали поступают из различных цехов завода: механообрабатывающих, прессовых, термических, литейных и др. На крупных предприятиях цеха металлопокрытий раньше организовы-

вались при каждом корпусе, где в массовом количестве изготавливались детали, подлежащие покрытию. В настоящее время всю химическую и электрохимическую обработку деталей производят в большинстве случаев в одном цехе. В этом случае исключается дублирование инженерных сооружений и коммуникаций, что значительно сокращает эксплуатационные затраты и амортизационные отчисления и в конечном счете удешевляет выпускаемую продукцию.

Размещение цехов металлопокрытий в системе завода определяется главным образом грузопотоком деталей. Их располагают вблизи сборочных цехов или цехов–изготовителей основной части продукции (механических, прессовых, литейных и пр.). Цеха металлопокрытий с большой производственной программой по декоративным покрытиям не рекомендуется размещать вдали от основной сборки, так как транспортировка (особенно навалом) таких деталей на больше расстояния нежелательна.

Поскольку цеха металлопокрытий относятся к категории вредных производств, их размещают, как правило, у наружных стен здания.

Учитывая специфику производства, все крупные цеха металлопокрытий проектируют обязательно с подвалом или в два этажа. При размещении цеха металлопокрытий в два этажа первый этаж делают техническим, он заменяет фактически подвальное помещение, а на втором этаже размещают всё производственное оборудование. Подвал или технический этаж дают возможность значительно упростить разводку вентиляционных воздуховодов и всех трубопроводов, которые располагают обычно по потолку подвала или технического этажа, где они доступны для осмотра и ремонта. Кроме того, при наличии подвала или технического этажа упрощается слив растворов из основных ванн покрытий в запасные ёмкости, который в этом случае производится самотёком. Всё это дает возможность значительно облегчить строительство и монтаж цеха, а также его дальнейшую эксплуатацию.

С производственной и технологической точек зрения оба варианта (с подвалом или в два этажа) размещения цехов металлопокрытий являются равнозначными. Некоторое преимущество имеет двухэтажное расположение цеха, так как на первом этаже могут быть расположены вспомогательные участки и службы, требующие дневного освещения. При размещении цехов металлопокрытий в корпусе с высокими пролетами (12,6 м) двухэтажное расположение цехов следует считать наибо-

лее целесообразным. При высоком уровне грунтовых вод строительство подвала трудно осуществимо, и, как правило, цеха металлопокрытий в этом случае располагают только в два этажа. Таким образом, выбирают тот или иной вариант в зависимости от конкретных условий и стоимости строительства.

В исключительных случаях при небольших объёмах производства отделения гальванопокрытий, имеющие в своём составе ванны с ручным обслуживанием или механизированные линии и в отдельных случаях автооператорные автоматы небольшой производительности, размещаются на одном этаже. В этом случае все коммуникации прокладывают под полом путём устройства специальных каналов для вытяжной вентиляции и канализации.

Выбор размеров пролётов обусловливается размещением цехов металлопокрытий в общем здании с другими производственными цехами завода. Ширина пролёта обычно составляет 18 и 24 м, шаг колонн – 6 и 12 м. Сетка колонн в подвале или на техническом этаже – 6 х 12 м.

Высота цехов металлопокрытий (при двухэтажном расположении – второго этажа) может быть 6, 7,2 и 8,4 м (рис. 10.1). Высоту цеха устанавливают в зависимости от высоты оборудования и высоты подъёма его над уровнем пола. При этом расстояние от верха автомата до фермы перекрытия должно быть не менее 1 м. Для размещения всех коммуникаций высота подвала или технического этажа должна быть не менее 6 м (от пола до низа несущих конструкций), только для небольших отделений металлопокрытий возможна меньшая высота подвала (до 4,5–4,8 м).

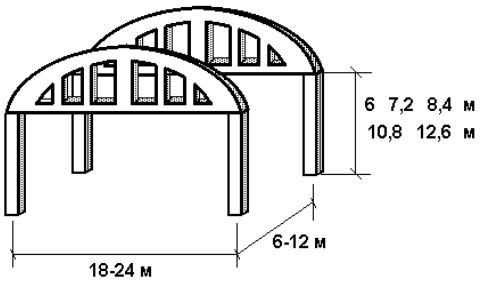



Рис. 10.1. Размеры пролётов, шага

Площадь производственного помещения на одного работающего должна быть не менее 4,5 м$^2$.

В зависимости от конкретных условий подвал может быть под

всем цехом или только под частью цеха, но обязательно под всеми производственными помещениями.

Нагрузку на перекрытие определяют по максимальной массе оборудования, расположенного в цехе, и массе складируемых деталей. Для цехов металлопокрытий с автоматами, имеющими ванны высотой до 1,4 м, нагрузка на перекрытие составляет примерно 2,5 т/м$^2$, при большей высоте ванн – около 3,5 т/м$^2$. Для ванн с ручной обработкой и механизированных линий с загрузкой электротельфером при высоте ванн до 1 м нагрузка на перекрытие приблизительно равна 1,5 т/м$^2$.

По взрывопожарной и пожарной опасности цеха металлопокрытий относятся к категории Д, по классу помещений по взрывоопасности являются не взрыво- и не пожароопасными. Исключением являются участки с применением горючих материалов, которые относятся к категории В, а по классу взрывоопасности – П-IIа, например, участки с применением бязевых кругов без пропитки огнестойким составом, горючих органических растворителей и пр.

Цеха металлопокрытий отгораживают от остальных цехов корпуса сплошными стенками до перекрытия, межферменное пространство не перекрывают.

К производственной площади следует относить:

– площадь под производственным оборудованием, контрольной аппаратурой и напольным транспортным оборудованием (рольгангами, конвейерами и др.) с комплектом организационной оснастки;

– площадь под неотгороженными складскими площадками;

– площадь, занятую наземными электротехническими устройствами, обслуживающими технологическое оборудование цеха, установленное открыто (не огорожено) на производственных участках (выпрямители, трансформаторы, щиты, пульты управления);

– площадь цеховых проходов и транспортных проездов между оборудованием и рядами оборудования (кроме магистральных проездов).

К вспомогательной площади следует относить площади отгороженных помещений:

– отделения приготовления растворов и электролитов, аварийного слива и фильтрации растворов и электролитов;

– участка регенерации драгоценных металлов;

– участка ультразвуковых генераторов, выпрямителей и автоматики;

– участка изготовления, ремонта и изоляции подвесок;

– вентиляционных камер;

– насосной;

– кладовых кислот, химикатов, вспомогательных материалов, поступающих и готовых деталей;

– экспресс-лаборатории.

В состав общей площади цеха не следует включать:

– отгороженные помещения для энергетических и санитарно-технических установок;

– площади технических этажей, предназначенные для размещения инженерных устройств и коммуникаций;

– площади цеховых контор и бытовых помещений;

– площади магистральных проездов.

При укрупнённых расчётах потребная производственная площадь может быть определена по нормам площади на единицу оборудования, приведённым в табл. 10.1.

### 10.2. Компоновка цеха

Компоновку цеха производят с учётом непрерывности производства, максимально возможного сокращения транспортных перевозок деталей и материалов, а также сближения между собой взаимосвязанных производственных и вспомогательных помещений. Так, например, полировальное отделение размещают вблизи участков декоративных покрытий, централизованные участки монтажа детали на подвески – около склада деталей, участки накатки кругов рядом с шлифовально-полировальными отделениями и т. п.

Компоновка цеха должна преследовать основную цель – выделить производственную площадь в отдельное помещение, называемое технологическим залом. Как правило, в технологическом зале должно размещаться только технологическое и транспортное оборудование. Оборудование вентиляционное, электротехническое, автоматика, вспомогательное технологическое оборудование, службы ремонта, складские помещения для материалов и другие подразделения должны быть при компоновке цеха отделены от технологического зала стенами, обеспечивающими необходимую звукоизоляцию и пожаровзрывобезопасность.

Таблица 10.1

Нормы площадей на единицу оборудования
и на одно верстачное место для укрупнённых расчётов

| Наименование оборудования | Нормативы удельных площадей на единицу оборудования, м$^2$ | |
|---|---|---|
| | Производственная площадь | Общая площадь |
| Автоматы и механизированные линии | Площадь, занимаемая автоматом и механизированной линией, с коэффициентом 2,5-3,5 | Производственная площадь, увеличенная на 45% |
| Ванны с ручным обслуживанием (стационарные ванны) объёмом от 1,0 до 1,5 м$^3$ | 6–7 | 9–10 |
| Стационарные ванны длиной более 3 м | 15–18 | 22–27 |
| Сушильные и вытяжные шкафы | 10–15 | 15–22 |
| Верстаки | 5–6 | 7–9 |
| Станки шлифовально-полировальные | 10–12 | 15–17 |
| Мотор-генераторы | 10–15 | 15–22 |
| Выпрямители и прочее оборудование | 5–6 | 7–9 |
| Установка виброочистки | 10–12 | 15–17 |

Примечание: Для предпроектных расчётов вспомогательную площадь следует принимать от 40 до 45 % от производственной площади. Общую площадь цеха (отделения, участка) следует считать как сумму производственной и вспомогательной площадей.

Участки и отделения кислотного и щелочного травления, оксидирования, неавтоматизированные участки обезжиривания в органических растворителях, шлифовально-полировальные участки, участки ультразвуковой очистки, всё дробеструйное оборудование и галтовочные барабаны необходимо устраивать в отдельных помещениях. Перегородки между участками могут быть высотой 2,8 – 3,2 м либо до уровня перекрытий.

Экспресс-лаборатории следует располагать у наружной стены с окнами.

Производственные отделения цехов металлопокрытий при наличии подвала размещают на первом этаже, а при двухэтажном решении с

техническим этажом – на втором, за исключением участков выпрямителей, которые могут быть расположены также в подвале или на техническом этаже.

В тех случаях, когда *высота пролёта ниже 10,8 м*, на нулевой отметке пролёта размещается технологический зал и предусматривается подвал с отметкой пола -6 м. Подвал должен иметь два выхода и грузовой лифт грузоподъёмностью 3 т. В подвале размещают вспомогательные участки и оборудование: участки приготовления растворов (в том числе цианистых), участки очистки или сбора сточных вод, кладовые химикатов и анодов, вентиляционные установки, оборудование для приготовления деминерализованной воды, воздуходувки и буферные ёмкости для обезвреживания растворов. Кроме того, в подвале могут быть также размещены теплообменники, маслонасосные станции к автоматам и кладовые подвесок. Из всех участков, расположенных в подвале, выделяют в отдельные помещения участки приготовления цианистых растворов, станции очистки сточных вод и кладовые химикатов и анодов. Кладовые химикатов и анодов допускается отгораживать сетчатыми перегородками. На участках приготовления цианистых растворов должно быть обязательно выделено помещение, где располагают душ, раковины для мытья рук и шкафы для спецодежды.

В *пролётах высотой более 10,8 м* целесообразно цех строить в два этажа. В этом случае нижний этаж предназначается для всех вспомогательных служб. В отличие от первого варианта (с подвалом) компоновки гальванического цеха на первом этаже в отдельных помещениях можно размещать службы, требующие естественного освещения и наружных выходов: участки ремонта и изоляции подвесок, участки изготовления и накатки шлифовальных кругов, приготовления паст, экспресс-лаборатории, мастерские электрика и механика, трансформаторные.

Размещение технологического зала на втором этаже требует установки грузовых и пассажирских лифтов, но, несмотря на осложнения с транспортировкой деталей, второй вариант (в два этажа) не требует проведения работ по гидроизоляции подвала и позволяет более рентабельно использовать площадь первого этажа.

Приточные вентиляционные камеры располагают у наружных стен для обеспечения возможности забора свежего воздуха. В небольших одноэтажных отделениях вентиляционные установки можно размещать

на антресолях над проездами или вспомогательными помещениями, но с обязательным отгораживанием их звуконепроницаемыми перегородками. К такому размещению вентиляционных установок иногда прибегают и в крупных цехах. Однако чаще вентиляционные камеры располагают в подвале или на техническом этаже, причём при отсутствии там постоянных рабочих мест их можно не отгораживать. Возможны и другие варианты размещения вентиляционных установок, например, в специальных "вставках" между цехами.

Станции для очистки сточных вод могут быть размещены полностью или частично на территории цеха или вынесены в отдельно стоящее здание. Этот вопрос решается по-разному в зависимости от объёма сточных вод, принятого метода очистки стоков и пр. При проектировании крупных цехов металлопокрытий на территории гальванического цеха предусматривают только сбор всех видов стоков, а очистные сооружения располагают в отдельно стоящем здании. Во всех случаях независимо от того, предусмотрены ли в цехе очистные сооружения или сбор сточных вод, эти участки располагают только в подвале или на техническом этаже, причём желательно у наружных стен.

Участки приготовления растворов, оборудование которых непосредственно связано с автоматами металлопокрытий трубопроводами централизованной раздачи растворов, размещают в подвале по возможности ближе к потребителям. При большой протяжённости цеха иногда целесообразно организовать самостоятельные участки, каждый из которых обслуживает определённую группу автоматов.

### 10.3. Планировка цеха

Основное условие при планировке цехов металлопокрытий – соблюдение непрерывности производства и организация надлежащих рабочих мест и проходов между оборудованием для его обслуживания и ремонта.

Оборудование в отделениях покрытий располагают параллельными рядами (рис. 10.2). Взаимно перпендикулярное расположение автоматов и рядов ванн допускается только в отдельных случаях как вынужденное решение, связанное со специфической конфигурацией помещения и размерами автоматов.

Загрузку автоматов производят, как правило, с торцевой стороны за исключением некоторых типов автоматов импортного производства,

где детали загружают сбоку на прямолинейных участках автомата. Независимо от мест загрузочных устройств автоматы располагают в цехе перпендикулярно основному проезду с загрузкой со стороны проезда.

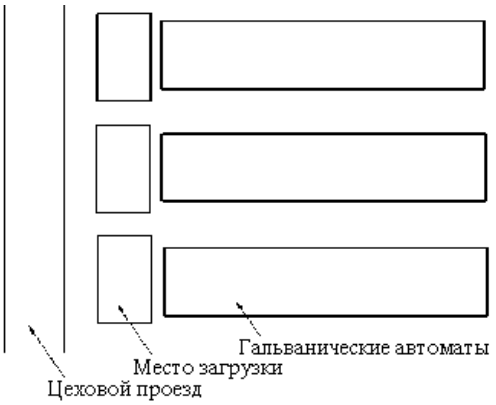



Рис. 10.2. Схема расположения гальванических линий

Ряды автоматов желательно располагать загрузочно-разгрузочными площадками в сторону проезда по одной линии. При различной длине автоматов свободные площади за автоматами могут быть использованы для складирования подвесок, комплектующего оборудования и пр. Варианты размещения автоматов выбирают в зависимости от их габаритов и размеров помещения с учётом соблюдения поточности производства.

Автоматы могут быть установлены на полу или подняты над уровнем пола. При установке автоматов непосредственно на полу трудно разместить под подмостками все коммуникационные трубопроводы таким образом, чтобы они были легко доступны для осмотра и ремонта. Кроме того, в этом случае воздуховоды от каждого вентиляционного кожуха должны быть опущены под пол, что вызывает увеличение количества проёмов в перекрытии пола, а это усложняет строительные работы. Поэтому установку автоматов на полу производят только в отдельных случаях, когда это связано с особенностями их конструкций или другими конкретными требованиями.

В последнее время наиболее распространена установка автоматов на высоте 0,5–1 м над полом. Это даёт возможность удобного размещения всех трубопроводов под подмостками автоматов, свободного обслуживания их при осмотре и ремонте. При этом возможно сокращение проёмов в перекрытии путём прокладки сборных воздуховодов под ваннами. Автоматы устанавливают на специальные бетонные опоры.

Высота подъёма над полом определяется конструкцией и размерами автоматов. На некоторых заводах автоматы установлены с подъёмом над полом более 1 м.

Перед автоматическими линиями или со стороны их загрузки предусматривают площадки для монтажа деталей на подвески и складирования поступающих и готовых деталей и подвесок. При централизованном монтаже предусматривают площади для возможности размещения конвейера или автоматического устройства для навески и снятия подвесок с автомата.

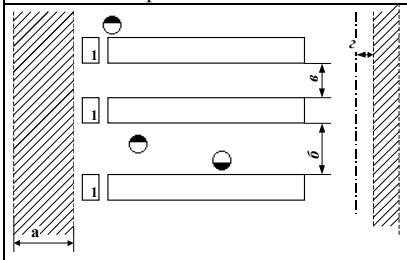
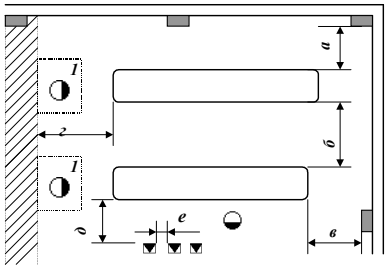
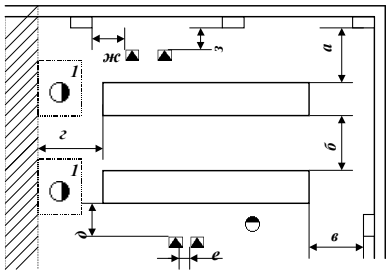
Выпрямители можно располагать как непосредственно в отделении покрытий, так и в подвале (или на техническом этаже). В отделениях покрытий их размещают на полу около автоматов или на уровне подмостков (обслуживающих настилов у автоматов) около электролитических ванн. Выпрямители с силой тока выше 3200 А, имеющие отдельный трансформатор, на уровне подмостков автоматов не устанавливают. В подвале или на техническом этаже выпрямители размещают по возможности ближе к гальваническим линиям. Непосредственно под ваннами выпрямители не устанавливают, а сдвигают их несколько в сторону. Иногда выпрямители в подвалах или на техническом этаже размещают на антресолях. При этом, с одной стороны, уменьшается расход токоподводящих шин, с другой стороны, место под антресолями может быть использовано для вспомогательного оборудования. Установку выпрямителей на площадках производственного этажа следует считать менее удачным решением, так как при этом очень сильно загромождается помещение цеха.

Установки селективной очистки устанавливают в отделении покрытий около линий по возможности ближе к соответствующим технологическим ваннам. Фильтры для непрерывной фильтрации электролитов, буферные ёмкости и прочее комплектующее оборудование могут быть размещены в отделении покрытий около линий или в подвале (на техническом этаже). Пульты управления располагают в торце линий (со стороны загрузки) или между линиями на полу или на уровне настилов.

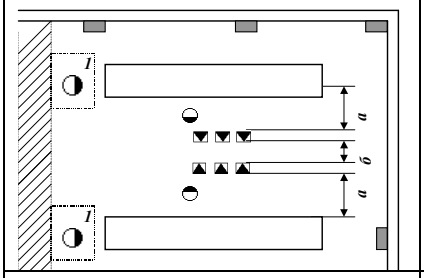
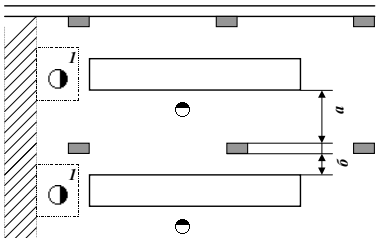
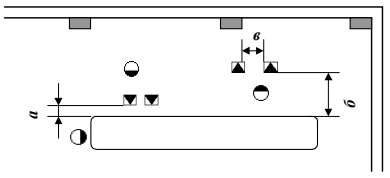
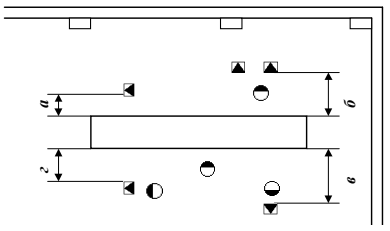
Нормы ширины проходов и цеховых проездов, а также расстояния между оборудованием, выпрямителями и элементами зданий приведены в табл. 10.2.

Таблица 10.2

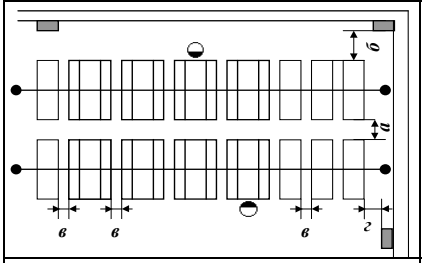
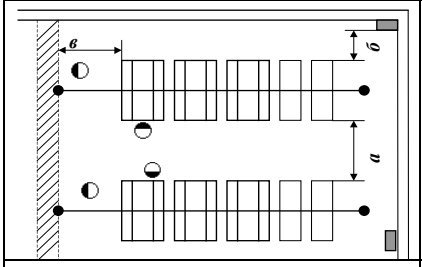
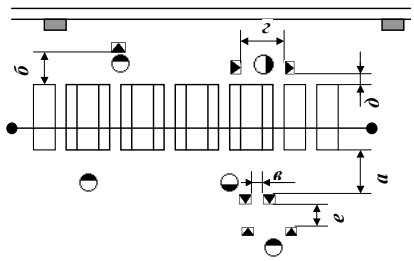
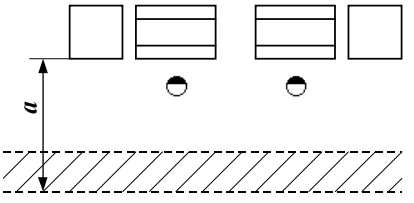
Нормы расстановки оборудования и верстачных мест

| Расположение оборудования | Расстояние | Размеры, мм |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| Автоматизированная поточная линия покрытий (1 – загрузочное устройство) | | |
|  | Ширина основного цехового проезда (*а*) | 2500–3500 |
| | Проезд между рабочими сторонами автоматов (*б*) | 2000–2500 |
| | Проезд между тыльными сторонами автоматов (*в*) | 1200–1500 |
| | Расстояние от проезда до оси транспортного конвейера (*г*) | 400 + 0,5 максимальной ширины деталей |
| Автоматы кареточного типа с жёстким циклом (1– площадка загрузки-выгрузки) | | |
|  | Между колоннами и боковой стороной автомата с настилом (*а*) | 1200-1300 |
| | Между настилами (*б*) | 1500-2000 |
| | Между колонной и тыльной стороной автомата (*в*) | 1500-2000 |
| | От проезда до рабочего места автомата (*г*) | 2000-2500 |
| | От настила до выпрямителя (*д*) | 1200-1500 |
| | Между выпрямителями (*е*) | 250-300 |
| Автоматы автооператорного типа с настилом (1– площадка загрузки-выгрузки) | | |
|  | Между колонной и боковой стороной автомата (*а*) | 1500-2000 |
| | Между автоматами (*б*) | 1500-2000 |
| | От колонны до автомата (*в*) | 1500-2000 |
| | От проезда до рабочего места автомата (г) | 2000-2500 |
| | Между выпрямителем и автоматом (д) | 800-1000 |
| | Между выпрямителями (*е*) | 250-300 |
| | От колонны до выпрямителя (ж) | 800-1000 |
| | Между колонной и тыльной стороной выпрямителя (*з*) | 600-800 |

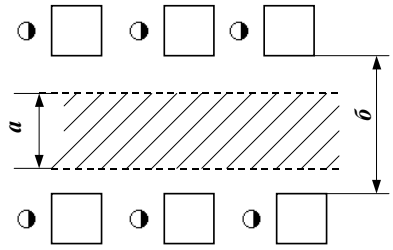
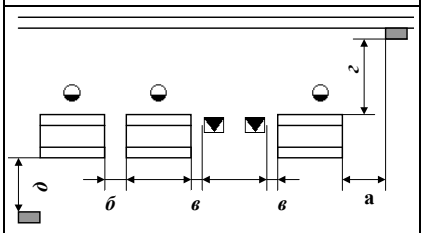
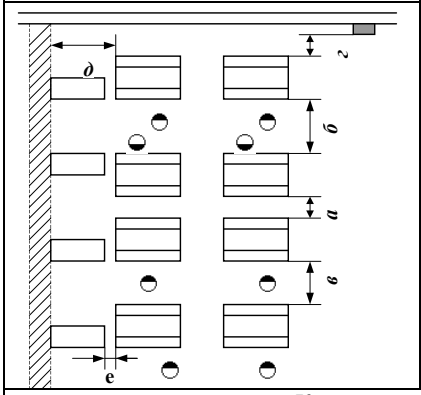
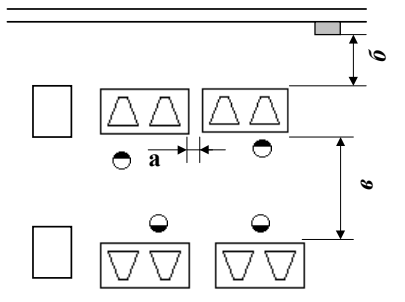
Продолжение табл. 10.2

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
|  | Между автоматом и выпрямителем (а)<br>Между тыльными сторонами выпрямителей (б) | 1200-1500<br>800-1000 |
|  | Между колонной и рабочей стороной автомата (а)<br>Между колонной и тыльной стороной автомата (б) | 1200-1500<br>не менее 200 |
| Автоматы кареточного и автооператорного типа с настилом | | |
|  | Между боковой стороной автомата и задней стенкой выпрямителя (а)<br>Между боковой стороной автомата и лицевой стороной выпрямителя (б)<br>Между выпрямителями (в) | 100-200<br>800-900<br>250-300 |
| Автоматы автооператорного типа без настила | | |
|  | Между тыльной стороной автомата и боковой стенкой выпрямителя (а)<br>Между тыльной стороной автомата и лицевой стороной выпрямителя (б)<br>Между рабочими сторонами автомата и выпрямителя (в)<br>Между рабочей стороной автомата и боковой стенкой выпрямителя (г) | 500-600<br>800-900<br>1200-1500<br>1000-1200 |

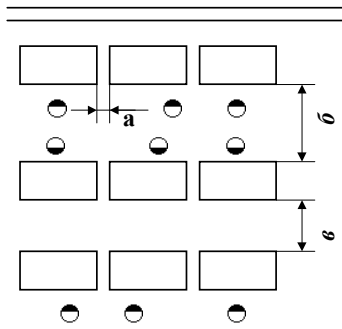
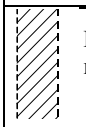
Продолжение табл. 10.2

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| Ванны с механизированной загрузкой электротельфером или автооператором | | |
|  | Между тыльными сторонами ванн (а)<br>От рабочей стороны ванны до колонны (б)<br>Между ваннами (в)<br>От боковой стороны ванны до колонны (г) | 800-1000<br>1200-1500<br>100-200<br>800-1000 |
|  | Между рабочими местами ванн (а)<br>Между колонной и тыльной стороной ванны (б)<br>От проезда до боковой стороны ванны (в) | 1500-2000<br>800-1000<br>2000-2500 |
|  | Между рабочими сторонами ванны и выпрямителя (а)<br>Между тыльной стороной ванны и лицевой стороной выпрямителя (б)<br>Между боковыми сторонами выпрямителей (в)<br>Между тыльной и лицевой сторонами выпрямителей(г)<br>Между тыльной стороной ванны и боковой стороной выпрямителя (д)<br>Между тыльными сторонами выпрямителей (е) | 1200-1500<br>800-900<br>250-300<br>1000-1200<br>100-150<br>800-1000 |
| Ванны с ручным обслуживанием | | |
|  | Основной цеховой проезд с учётом рабочих мест у оборудования, обращенных в сторону проезда (а) | 4000 |

Продолжение табл. 10.2

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
|  | Проход для работающих (а)<br>Расстояние между боковыми сторонами оборудования с учетом прохода (б) | 1500<br>2000 |
|  | От колонны до боковой стороны ванны (а)<br>Между ваннами, расположенными в ряд (б)<br>Между ванной и выпрямителем (в)<br>От колонны до рабочей стороны ванны (г)<br>От колонны до тыльной стороны ванны (д) | 500-600<br>250-300<br>150-300<br>1000-1200<br>600-800 |
|  | Между тыльными сторонами ванн (а)<br>Между рабочими сторонами ванн (б)<br>От рабочей стороны ванны до тыльной стороны ванны (в)<br>От колонны до тыльной стороны ванны (г)<br>От боковой стороны ванны до проезда (д)<br>От ванны до верстака (е) | 600-800<br>1500-2000<br>1200-1500<br>600-800<br>1500-2000<br>300-400 |
| Колокольные установки | | |
|  | Между колокольными установками (а)<br>От колонны до тыльной стороны колокольной установки (б)<br>Между рабочими сторонами колокольных установок (в) | 200-250<br>600-800<br>1500-2000 |

Окончание табл. 10.2

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| Верстаки | | |
|  | Для операций, требующих вентиляции (горячее лужение, изоляция и т.д.) | |
| | Между верстаками (а) | 200-300 |
| | Между рабочими местами (б) | 1500-1600 |
| | Между тыльными сторонами верстаков (в) | 600-800 |
| | Для операций, не требующих вентиляции | |
| | Между верстаками (а) | 50-100 |
| | Между рабочими местами (б) | 1500-1600 |
| | Между тыльными сторонами верстаков (в) | 50-100 |
|  Цеховой проезд | Рабочее место | Участок стены с колонной | Выпрямитель |

Примечание: Указанные расстояния до выпрямителей и между ними действительны только для случаев расположения выпрямителей на одной отметке с оборудованием. При расположении выпрямителей в подвале или в отдельном помещении расстановку их производить согласно норм технического проектирования.

В механизированных линиях с обслуживанием электротельфером все ванны располагают длинной стороной поперёк оси линии, а при ручном обслуживании основные ванны и все ванны с вентиляцией устанавливают длинной стороной по оси линии, а менее длинные ванны промывки и кратковременных операций – поперёк оси линии.

### 10.4. Отделка помещений цеха

Конструкция и химическая защита *полов* зависят от характера применяемых растворов. Полы в отделениях покрытий и на других участках, где работы производятся с применением агрессивных растворов, должны быть водонепроницаемыми и химически стойкими к воздействию агрессивных сред (кислот, щелочей и прочих химикатов). Обычно в качестве защитного покрытия применяется метлахская или керамическая плитка на битуминоле, при повышенном механическом воздействии на пол – кислотоупорный шамотный или клинкерный кирпич. На участках ванн хромирования и электрохимического никелирования, а также ванн с растворами серной кислоты при концентрации свыше 30% и азотной кислоты – свыше 10% вместо битуминоля используют кислотоупорный цемент. В качестве гидроизоляции рекомендуется использовать два слоя рубероида.

Полы должны иметь уклон для стока до 2°.

Пол по всей площади помещения необходимо перекрывать деревянными решётками обязательно на одном уровне. Решётки изготавливают из струганных реек шириной 70-100 мм и толщиной 20-30 мм, приколачивая их к опорным брусам шириной 70-100 мм и высотой 25-120 мм с зазором между рейками не более 10-20 мм, а между брусками – 500-1000 мм.

Устройство плавных наклонных (под углом до 15°) подъёмов с пола на решётку должно быть сведено к минимуму. На неперекрытых решётками участках пола в местах скопления воды и растворов можно поскользнуться и получить травму. При высоком оборудовании либо делают второй пол во всем помещении на нормальном рабочем уровне (800-900 мм ниже верхнего края ванны), либо устраивают вдоль оборудования широкие мостки, огороженные перилами.

*Стены и колонны* всех производственных помещений цеха и участков приготовления растворов на высоту 2,8–3,2 м от пола облицовывают керамическими или стеклянными плитками на кислото- и щелочестойкой мастике, а верх стен и колонн окрашивают синтетической, полимерцементной или масляной краской светлого тона. Окраске подлежат также металлические конструкции ферм, воздуховоды и все трубопроводы. В остальных помещениях стены на всю высоту окрашивают синтетическими, масляными или полимерцементными красками.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оборудование цехов электрохимических покрытий: Справочник / В.М. Александров, Б.В. Антонов, Б.И. Гендлер и др.; Под ред. П.М. Вячеславова. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 309 с.

2. ОСТ2 П65-1-80. Ванны для подготовки поверхности и нанесения гальванических, химических и анодно-окисных покрытий. Типы и основные размеры.

3. Вольберг В.В., Волков А.Ю. Устройство и эксплуатация оборудования для металлопокрытий и окрашивания: Учебник для ПТУ. –М.: Высш. школа, 1991. – 336 с.

4. Гибкие автоматизированные гальванические линии: Справочник / В.Л. Зубченко, В.М. Рогов и др.; Под общ. ред. В.Л. Зубченко. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.: ил.

5. ГОСТ 9.306-85. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Обозначения.

6. Гальванические покрытия в машиностроении: Справочник: В 2-х т. / Под ред. М.А. Шлугера, Л.Д. Тока. – М.: Машиностроение, 1985. – Т.2. 248 с.

7. Ямпольский А.М., Ильин В.А. Краткий справочник гальванотехника. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отдние, 1981. – 269 с.

8. Гальванотехника: Справ. изд-ние / Ф.Ф. Ажогин, М.А. Беленький, И.Е. Галь и др. – М.: Металлургия, 1987. – 736 с.

9. Макарова Н.А., Лебедева М.А., Набокова В.Н. Металлопокрытия в автомобилестроении: Справ. пособие. – М.: Машиностроение, 1977. – 294 с.

10. Сивков В.П. Безопасность труда гальваника /Редколлегия.: С.В. Белов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 80 с.

11. Справочник по охране труда. В 4-х т. / Под общей редакцией Л.П.Шарикова. – Л.: Судостроение, 1975. – Т.3. Нормы и правила по металло- и деревообработке. – 512 с.

12. Елинский И.И. Вентиляция и отопление гальванических цехов машиностроительных предприятий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1989. – 152 с.

13. ГОСТ 9.314-90. Вода для гальванического производства и схемы промывок. Общие требования.

14. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство. /Под редакцией проф. В.Н. Кудрявцева.– Изд. 2-е, перераб. и доп.; "Глобус". М., 2002. – 352 с.

15. ОСТ4 ГО.091.277. Физико-химическое производство. Организация цехов и участков производства металлических и неметаллических (неорганических) покрытий.

**ВИНОГРАДОВ**
**Сергей Станиславович**

# ОРГАНИЗАЦИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА. ОБОРУДОВАНИЕ, РАСЧЁТ ПРОИЗВОДСТВА, НОРМИРОВАНИЕ.

Издательство "Глобус"
Москва
2005 г.