

С.А.ЛОБАНОВ · ПРАКТИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ ГАЛЬВАНИКУ



С.А.ЛОБАНОВ

---

# Практические советы гальванику

812.45

С.А.ЛОБАНОВ

# Практические советы гальванику



ЛЕНИНГРАД «МАШИНОСТРОЕНИЕ»  
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ 1983

ББК 34.663  
Л68  
УДК 621.357

Редактор канд. техн. наук В. А. Ильин  
Рецензент канд. техн. наук В. А. Касьян

Лобанов С. А.

Л68 Практические советы гальванику. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние. 1983. — 248 с., ил.

В пер.: 1 р. 10 к.

В книге рассмотрены особенности гальванического процесса и конструкции оборудования. Даны практические указания по эксплуатации ванн для наиболее распространенных покрытий, выбору режимов. Обобщен опыт передовых рабочих-гальваников.

Книга рассчитана на рабочих и мастеров гальванических цехов машиностроительных предприятий.

Л 2704070000-079  
038 (01)-83 79-83

ББК 34.663  
6П5.1

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Предлагаемая вниманию читателей книга не претендует на систематическое и полное изложение основ гальванотехники. Это всего лишь сборник ответов на некоторые производственные вопросы, с которыми, как правило, сталкивается гальваник — рабочий, мастер, инженер — в начале своей производственной деятельности.

В книге использован личный опыт автора и опыт его товарищей по работе. Из обилия литературных материалов выбраны те из них, в которых приводятся конкретные указания по некоторым наиболее важным вопросам конструкции и эксплуатации гальванического оборудования и гальванических растворов.

Предлагаемые в настоящем издании цифровые данные в большинстве случаев не являются абсолютными, читателю иногда придется самостоятельно выбирать их пределы, зависящие от конкретных технологических, конструктивных, организационных и прочих условий работы его цеха.

Для того чтобы читатель смог решить вопрос о практическом использовании в конкретных производственных условиях тех или иных советов, приводимых в данной книге, в большинстве случаев дается описание экономического и технического эффекта, получаемого при применении того или иного оборудования или режима работы.

Все отзывы и пожелания по данной книге просим присылать в ЛО издательства «Машиностроение» по адресу: 191065, Ленинград, ул. Дзержинского, 10.

## Раздел I

# НЕКОТОРЫЕ ВИДЫ ОБОРУДОВАНИЯ И ПРИСПОСОБЛЕНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЦЕХАХ

---

### *Глава 1. СТАЦИОНАРНЫЕ ВАННЫ*

Ванны, т. е. емкости, 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: создание и поддержание заданного теплового режима; отсутствие химического взаимодействия материала ванны с содержащимся в ней раствором; удобство и безопасность ее обслуживания. Для ванн с электролитическим рабочим процессом кроме перечисленных требований необходим также подвод электрического тока требуемой полярности и силы к электродам при требуемой в данном случае степени равномерности распределения тока по поверхности электродов и особенно деталей с возможно меньшими потерями электрического напряжения сверх того напряжения, которое необходимо для поддержания на электроде нужного при данном процессе и данной силе тока потенциала<sup>1</sup>.

Применяемые в гальванических цехах ванны по способу загрузки (ручному или механизированному) принято разделять на две группы: стационарные (или ванны ручного обслуживания) и ванны с механизированной загрузкой. Последние в свою очередь - разделяются по типам механизма на весьма значительное количество подгрупп.

---

<sup>1</sup> Потенциалом электрода называется скачок напряжения электрического тока между поверхностью электрода и непосредственно прилегающим к ней слоем электролита.

На ваннах второй группы (к ним не относятся вращающиеся или качающиеся ванны для обработки массовых мелких деталей) мы в данной книге останавливаться не будем, ибо они изготавливаются, как правило, не на заводе-потребителе, а на специализированном заводе в г. Тамбове.

## 1. Габаритные размеры ванн

Расстояние между центрами соседних анодной и катодной штанг берут обычно в пределах 150—200 мм и более. При малых расстояниях между анодом и катодом резко сказывается относительная разница расстояний до более и менее близких к аноду точек детали. Во сколько раз больше эта разница в расстояниях, во столько раз будет больше разница плотностей тока в этих точках. Отсюда и различие в качестве и толщине покрытия (иногда усугубляемое, а иногда улучшаемое вторичным распределением тока).

Рабочему, обслуживающему ванну, приходится часто загружать и выгружать довольно тяжелые предметы. При этом необходимо соблюдать осторожность, чтобы брызги едкого раствора не попали на одежду или открытые участки тела рабочего, поэтому следует создать соответствующие условия для удобства обслуживания ванн.

Человек может протянуть руку для работы примерно на 800 мм. Следовательно, при наличии одностороннего доступа к ванне ширина от ее наружного края (включая бортовой отсос, водяную рубашку и т. п.) до наиболее удаленной анодной штанги не должна превышать 750—800 мм. При наличии рабочих проходов с обеих сторон ванны, допускающих ее двустороннее обслуживание, ширина ванны может быть вдвое больше. При наличии же устройства для механизированного подъема любой катодной или анодной штанги вместе с ее загрузкой (см. гл. 4) ширина ванны этими соображениями не лимитируется.

Высота верхнего края ванны, включая арматуру (штанги), бортовой отсос и т. п., не должна быть более 800—900 мм над уровнем напольных решеток. При необходимости установить более глубокую ванну лучше не делать вдоль нее специальных приступок или ступе-

нек, а поднять уровень напольных решеток во всем помещении или, по крайней мере, на возможно большей его площади. На ступеньках человек легко может оступиться, особенно если он несет тяжелый или неудобный груз.

Длина каждой ванны в одной технологической линии, по которой детали транспортируются без перевешивания на одном и том же подвесочном приспособлении, должна быть кратной размеру последнего, замеренному вдоль штанги ванны с небольшим припуском на интервалы между подвесками и на допущенные колебания их размеров (см. гл. 5). В этот кратный размер не входят припуски по длине ванны на трубы к змеевикам и барботерам и повышенные зазоры между крайними подвесками и металлическими торцовыми стенками ванны или металлическими трубами для снижения эффекта биполярного электрода. Длина всех ванн длительной обработки данной линии должна быть одинаковой, длина ванн кратковременной обработки (активирования, осветления, промывки и т. п.) может быть короче (но обязательно кратной длине подвески). В этом случае нужно продумать вопрос о хранении обработанных в коротких ваннах подвесок, пока не будет подготовлена полная загрузка для длинной ванны. На это время хранить подвесочные приспособления с деталями удобно в промывочной ванне, лишние 2—3 мин их пребывания в промывочной воде не повлияют на качество покрытия, но не следует хранить детали на воздухе во избежание их окисления.

## **2. Материалы и конструкция ванн**

**Ванны из углеродистой стали.** Наиболее распространенный материал для ванн — обыкновенная малоуглеродистая сталь. Толщину листа для небольших ванн следует брать не менее 5 мм, для ванн на 600 л и больше — не менее 7 мм. Это вызвано не соображениями механической или коррозионной прочности (от действия раствора сталь защищена футеровкой, от наружной влаги — окраской), а удобством и надежностью сварки и возможностью коробления ванны. Лист толщиной 5—7 мм легко может быть сварен с предварительной разделкой стыка изнутри и снаружи,

что обеспечит герметичность шва. При больших ваннах и относительно тонком листе во избежание коробления боковых стенок иногда наваривают по их диагонали уголок жесткости, однако это часто мешает установке бортовых вентиляционных отсосов и т. п. По верхнему краю ванны по всему периметру обязательно приваривается уголок жесткости («обвязка») размером от  $50 \times 50$  до  $100 \times 100$  мм, что необходимо не только для увеличения жесткости ванны, но и для крепления бортовых отсосов, опор для арматурных штанг и т. п.

**Ванны из коррозионно-стойкой стали.** В некоторых случаях, например для электролитического и химического полирования в крепких кислотах, необходимо делать ванны из коррозионно-стойкой хромоникелевой стали марок X18H8 — X18H10. Такая сталь устойчива в смеси крепких кислот, содержащей хотя бы несколько процентов азотной кислоты или иного сильного окислителя, и при отсутствии соляной или плавиковой кислот. Однако применять эти стали для щелочных или нейтральных растворов имеет смысл только в особо ответственных случаях; в большинстве щелочных растворов достаточно устойчива более дешевая и более легко обрабатываемая малоуглеродистая нелегированная сталь. Следует иметь в виду, что хромистые стали (без никеля) трудно свариваются и иногда дают трещины.

**Деревянные ванны** сейчас выходят из употребления, ибо обходятся дороже стальных и занимают несколько большую площадь цеха. Их небольшие преимущества сейчас с избытком перекрываются достоинствами современных стальных конструкций. Но поскольку деревянные ванны кое-где еще работают, то стоит упомянуть о существенной особенности их конструкции, обеспечивающей герметичность. Эта особенность заключается в том, что абсолютно все стыки досок между собой и торцовых стенок с дном стянуты вертикальными болтами, пропущенными через сверления в стенках, и горизонтальными болтами, стягивающими боковые стенки и пропущенными снаружи торцовых стенок и под дном.

### 3. Футеровка ванн

Футеровка имеет двойное назначение: защитить стенки ванны от воздействия раствора и защитить раствор от загрязнения продуктами растворения стенок. Выбор материала футеровки зависит от состава и тем-

пературы рабочего раствора. Универсальных материалов для футеровки не существует.

**Свинцовая футеровка.** Свинец стоек в концентрированной серной, а также в сернистой, фосфорной, хромовой и холодной плавиковой кислотах, в концентрированной уксусной, щавелевой и винной кислотах (в двух последних — только при отсутствии кислорода), а также в водопроводной не слишком мягкой воде; не стоек в соляной, разбавленной азотной (менее 70 %), уксусной (в присутствии кислорода) кислотах;

мало стоек в едких щелочах и сильно растворяется в известковой воде, содержащей около 0,1 %  $\text{Ca(OH)}_2$  при доступе кислорода. Заметно растворяется в дистиллированной воде в присутствии кислорода.

Свинец выдерживает температуру до 327 °С (температура плавления чистого металла). Его теплопроводность в два раза ниже, чем у железа.



Рис. 1. Деревянный каркас для сварки футеровки из листового свинца или пластиката

Сварку (или пайку) футеровки выполняют на деревянном каркасе (рис. 1), представляющем собой ящик, меньший по ширине и длине внутренних размеров ванны на 40—50 мм (на величину в 6—8 раз большую толщины свинцового листа), а по высоте — больший высоты ванны на 75—150 мм (1,5—2 ширины обвязки). Каркас может иметь не сплошные стенки, а только угловые ребра (из досок шириной 100—200 мм, толщиной 20—25 мм, обструганных снаружи) и поддерживающие перекладины в тех местах, где нужно будет сделать швы листов. Швы делать внахлестку по 50—70 мм, проварить на каркасе снаружи, опустить футеровку в ванну, вынуть каркас, проварить швы изнутри (внутренний и наружный швы не должны совпадать, зазор между ними — не менее 30 мм), надрезать торчащие из ванны углы и отогнуть их вокруг обвязки ванны. Перед сваркой (или пайкой) места будущих швов следует зачистить шабером до блеска. Для проверки герметичности швов надо залить немного воды в про-

межуток между футеровкой и стенкой ванны (по возможности — на всю высоту ванны), если при этом футеровку будет очень сильно пучить, то можно ограничиться меньшим количеством воды, наклоня ванну в сторону каждого вертикального шва последовательно для их проверки. Для того чтобы вылить воду, нужно положить ванну набок, не вынимая футеровки. После проверки наварить заплаты на оставшиеся после разрезки и отгибки незакрытыми углы обвязки.

Свинец варят самой малой сварочной горелкой водородно-воздушным (не кислородным) пламенем. Водород берут из баллона через редукционный клапан, в водородном патрубке горелки должна быть вложена прокладка из мелкочаистой медной сетки для защиты от проскока пламени. Воздух берут из заводской сети сжатого воздуха через масловодоотделитель или от центробежного (беспоршневого) компрессора. Присадочный прутки изготавливают из свинца.

Опытному сварщику удастся сварить свинец и ацетиленокислородным пламенем, однако это требует большого искусства.

Пайка свинцовой футеровки производится следующим образом. В растворе хромировочной ванны шов на свинце, сделанный оловянным припоем ПОС-33, получает по отношению к свинцу катодный потенциал и свинцовая футеровка около паяного шва в результате коррозии быстро разрушается. Однако автору удавалось получать практически достаточно прочную пайку таким способом: шов внахлестку пропаивался только снаружи, а внутренний край нахлестки подчеканивался чеканом (рис. 2). Подчеканка задерживала просачивание хромового раствора к слою оловянного припоя.

**Футеровка пластмассовыми материалами.** Из имеющихся у нас жестких листовых пластмасс почти все достаточно химически стойки в гальванических растворах, но не все удобны для футеровки. Некоторые из них плохо свариваются и склеиваются, недостаточно

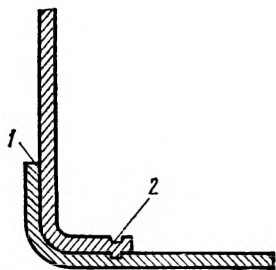


Рис. 2. Способ пайки свинцовой футеровки свинцово-оловянным припоем:

1 — место пайки; 2 — место подчеканки

теплостойки, хрупки и т. п. Наиболее распространенный у нас футеровочный материал — листовой винипласт (ГОСТ 9639—71). Температурный интервал применения его от 0 до 60°C, при температурах ниже нуля его хрупкость возрастает. Листовой винипласт нестойк к действию ароматических и хлорированных углеводородов, кетонов, сложных эфиров и концентрированной азотной кислоты. Менее распространен и на 10 °C более термостоек полихлорвиниловый пластикат по рецепту 57—40 (СТУ 30-14264—64). Он устойчив во всех обычных гальванических электролитах, включая хромовый и травильный (серноокислый) при температурах до 70 °C и выше, хотя при продолжительной работе выше 70 °C заметно коробится. Пластикат по СТУ 30-12467—62 отличается от вышеуказанного пластиката, в основном, своей окраской.

И винипласт и полихлорвиниловый пластикат термопластичны, оба легко свариваются струей горячего воздуха, для обоих присадочным прутом при сварке служит винипластовый пруток по ТУ МХП 90—48 или СТУ 30-12307—62. Кроме несколько большей термической и химической стойкости пластиката его существенным преимуществом по сравнению с винипластом является гибкость, благодаря которой пластикатовая футеровка прижимается раствором к стенке ванны, что устраняет нетеплопроводную воздушную прослойку, всегда имеющуюся между винипластовой и даже свинцовой футеровкой и ванной. Эта прослойка делает неприменимой винипластовую футеровку в ваннах с обогревом пароводяной рубашкой<sup>1</sup>. Кроме того, гибкость, нехрупкость 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.

---

<sup>1</sup> Если теплопроводность меди принять за 100 %, то теплопроводность малоуглеродистой стали равна 14 %, свинца — 9 %, винипласта — 0,4 % и сухого воздуха — 0,008 %. Отсутствие воздушной прослойки и в 2,5—3,5 раза меньшая толщина пластика позволяют с успехом применить пластикат для футеровки хромированной ванны с пароводяной рубашкой без заметного ухудшения скорости нагрева по сравнению со свинцовой футеровкой.

Винипласт и пластикат при температуре, чуть превышающей температуру их плавления, начинают разлагаться, о чем свидетельствует появляющееся при этом коричневое окрашивание. Поэтому сварку этих материалов нельзя вести в расплавленном слое (как варят металл), ее необходимо производить при температуре 220—230 °С. Нагретый до этой температуры присадочный пруток из винипласта слегка вдавливают в нагретый листовой материал и по остыванию образуется гомогенный сварочный шов. Присадочный пру-

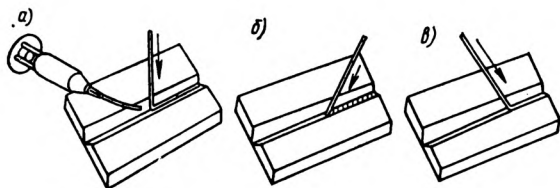


Рис. 3. Положение присадочного прутка при сварке термопластических материалов: а — правильное положение; б — неправильное положение, но допустимое при небольшом отклонении от перпендикуляра (не более 5°); в — недопустимое положение при всяком отклонении вперед по ходу сварки

ток держат перпендикулярно свариваемому листу или чуть отклоняя его в сторону, противоположную ходу сварки (рис. 3). Наклонять пруток вперед по ходу сварки нельзя, пруток будет мешать прогреву листа, а сам размягчится так, что его невозможно будет вдавить в шов. По этой же причине нельзя его наклонять и назад по ходу сварки больше, чем на 5—10°. Греть надо только место стыка прутка с листом, направляя струю горячего воздуха немного больше на лист, чем на пруток (пруток размягчается несколько быстрее листа). В отличие от жесткого винипласта, при приварке первого прутка к пластикатовому шву приходится придерживать край пластикатового листа деревянной рейкой возможно ближе к месту сварки, чтобы край листа не оттопыривался.

После укладки первого прутка поверх него наварируют второй ряд уже из двух прутков так, чтобы прутки второго ряда перекрыли края первого прутка.

Затем кладут третий ряд из трех прутков, тоже перекрывая продольные стыки прутков второго ряда и, если нужно, еще несколько рядов с возрастающим количеством прутков в каждом ряду. Толщина шва должна быть на 2—3 слоя больше толщины листа. Эти добавочные слои образуют валик на поверхности листа; многослойность шва нужна для обеспечения его герметичности и для компенсации пониженной по сравнению с листом механической прочности шва. Меньше 3—4 слоев ни на винипласт, ни на пластикат класть не рекомендуется.

Дефектные места шва (перегретые или непроваренные) следует вырезать острым ножом и заварить вновь, накладывая шов так, чтобы он перекрывал границу дефектного участка.

Сварка винипласта и пластиката очень проста и может быть легко освоена неспециалистом после одного-двух часов упражнения.

В отличие от листов винипласта, легко свариваемых встык при предварительной разделке места шва под углом около  $70^\circ$ , в ванне или вне ее футеровку из гибкого пластиката приходится варить на каркасе. Каркас изготавливается так же, как для сварки свинца (см. рис. 1), только доски можно взять потоньше — 15—20 мм. Раскрой и швы пластикатовой футеровки тоже отличаются от винипластовой. Гибкий и обычно тонкий пластикат (даже для больших ванн вполне достаточна толщина пластиката 2—3 мм) нужно варить внахлестку, что вызывает некоторое усложнение в заделке трехгранных углов. Сначала, пока футеровка находится на каркасе, проваривают все наружные швы, затем, сняв ее с каркаса, — внутренние швы. Оказалось удобнее проваривать внутренние швы до установки в ванну снятой с каркаса футеровки, положив ее на пол той стенкой (или дном), швы которой надо варить.

Все швы делают валиком не менее чем в 3—4 слоя присадочных прутков. Наружные размеры каркаса, в отличие от свинцовой футеровки, можно взять по длине и ширине всего на 20—30 мм меньше внутренних длины и ширины ванны. Это обеспечит достаточный зазор (при аккуратной натяжке пластиката на каркас) между футеровкой и ванной, что позволит установить

футеровку в ванне легко и без существенных складок, которые не смог бы расправить залитый в ванну раствор.

Порядок наложения швов на футеровку не играет существенной роли, лишь бы все швы были проварены так, чтобы ни в какой складке не образовалось негерметичного кармана. В такой карман может просочиться раствор и со временем продиффундировать обратно в ванну, в которой с тех пор состав раствора мог измениться так, что эта диффузия должна рассматриваться как загрязнение.

Удобен такой ход работы: отрезают от рулона или сваривают из листов (двусторонней сваркой внахлестку) полотнище, из которого будут образованы боковые стенки. Необходимо, чтобы ширина полотнища превышала высоту ванны на 220—300 мм, чтобы потом обогнуть этот излишек на 100—150 мм вокруг обвязки ванны и на 120—150 мм загнуть снизу ванны для сварки стенок со дном. Длина полотнища должна быть больше периметра ванны на ширину нахлестки (100—150 мм). Нужно, чтобы нахлестка при сварке располагалась над опорной доской каркаса.

Полотнище закрепляют двумя-тремя небольшими и неглубоко забитыми в опорную доску гвоздями, обворачивают вокруг боковых стенок каркаса, захватив край полотнища плоскогубцами, туго обтягивают его вокруг каркаса и закрепляют также гвоздями. Места забивки всех гвоздей надо сразу же отметить на пластике карандашом, чтобы потом, когда гвозди будут вынуты, не потерять и заделать заплаткой или несколькими рядами присадочных прутков отверстия от них. Вследствие эластичности материала эти отверстия трудно найти без пометок. Шов полотнища и, соответственно, опорная доска должны быть не ближе 300 мм от вертикального угла, чтобы не затруднить доступ к донным трехгранным углам при их заварке.

Затем каркас с футеровкой надо поставить вверх дном и сделать в выступающей над каркасом части бокового полотнища вырезы по углам (рис. 4), заканчивая разрез закруглением, а не резким углом, во избежание образования на его вершине трещины, шов от заварки которой затруднил бы установку футеровки в ванну. После этого можно загнуть края разреза

внахлестку, выровнять молотком образовавшуюся в закруглении выреза, уже в пределах дна, складку и заварить наружный шов внахлестку.

После этого можно вырезать из пластика заготовку для дна, длиной и шириной на 300—400 мм превышающей длину и ширину дна ванны, положить ее сим-

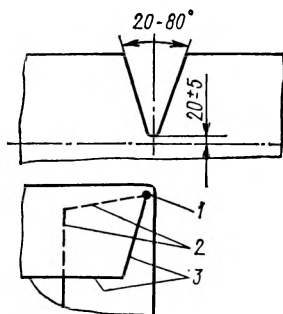


Рис. 4. Выкройка и сварка швов на трехгранных углах пластиковой футеровки:

1 — складка, образующаяся при загибе угла, подлежащая выравниванию (молотком) и заварке снаружи футеровки; 2 — швы, завариваемые на загибе боковых полотнищ изнутри футеровки, а на загибе донного полотнища — снаружи футеровки; 3 — швы, завариваемые на всех углах снаружи футеровки

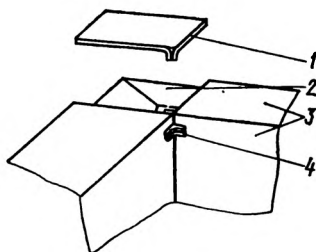


Рис. 5. Заделка входящих углов пластиковой футеровки, образовавшихся на углах обвязки ванны при отгибе верхнего края футеровки:

1 — заплата на угол обвязки (один угол заплаты условно показан заранее отогнутым); 2 — обвязка ванны; 3 — пластиковая футеровка; 4 — закрепление разреза наваркой прутков

метрично на каркас, отогнуть один край на боковую стенку футеровки и прикрепить его к стенке несколькими короткими швами, чтобы она не сдвинулась при приварке. Затем следует натянуть плотно заготовку и приварить к боковой стенке край донного листа, противоположный прихваченному. Затем после этого можно приварить прихваченную сторону дна сплошным швом; загнуть на боковые стенки и приварить к ним оба оставшиеся края донного листа; сложить треугольником стыкующиеся на каждом из четырех углов футеровки углы донного листа (как это показано,

например, на рис. 27 для загиба углов жестяного листа); отогнуть их к какой-либо из боковых стенок и приварить, проследив, чтобы в этом отогнутом треугольнике не образовался незагерметизированный карман. Заделка трехгранных углов — это единственная сложность в изготовлении футеровки. После этого можно снять футеровку с каркаса, положить ее на пол и проварить все внутренние швы. Эластичность пластика позволяет несколько раздвинуть боковые стенки футеровки, насколько это нужно для удобства работы, аккуратно, но и без особого опасения ее повреждения. После этого можно установить футеровку в ванну и произвести оставшиеся мелкие доделки уже на месте.

Для того чтобы какой-нибудь упавший в ванну острый предмет или анод не пробил дно, рекомендуется делать у футеровки второе дно. Его вырезают в виде прямоугольной заготовки обычно на 40—80 мм короче ширины и длины ванны и приваривают внутри ванны поверх основного дна (швы приходятся на отбортованные участки боковых стенок). Приварка должна быть герметична во избежание образования кармана между первым и вторым дном.

Уменьшение размеров дна нужно для удобства сварки, которую лучше делать после установки футеровки в ванну, а варить вплотную к вертикальной стенке очень неудобно.

Теперь остается только надрезать углы выступающей над краем ванны части футеровки, закрепить разрез наваренными поперек двумя-тремя короткими швами, отогнуть выступающие края вокруг обвязки ванны и закрепить их внизу обвязки металлическими планками. На головки винтов, крепящих планки, в случае необходимости следует наварить пластиковые заплатки для защиты винтов от обливания раствором и приварить поверх углов обноски заплаты из пластика, как указано на рис. 5 (угол заплаты условно показан заранее загнутым, фактически его нужно отогнуть при приварке).

Хотя описание изготовления пластиковой футеровки кажется сложным, в действительности сварщик с подсобником могут сделать футеровку ванны среднего размера за одну-полторы смены.

#### 4. Сварочная горелка для сварки винипласта и хлорвинилового пластика

Сварочная горелка должна давать струю воздуха, температура которой в месте соприкосновения струи со свариваемым материалом, т. е. на расстоянии 5—10 мм от сопла горелки, должна составлять 200—220 °С. Для этого необходимо, чтобы воздух на выходе из сопла имел температуру 230—270 °С. В месте сварки температура не должна превышать 230 °С — температуры разложения и обугливания винипласта и пластика. Температура регулируется изменением расстояния от сопла до точки сварки и объема подаваемого воздуха, а контролируется по цвету получаемого шва. Можно допускать слабое пожелтение шва, но отнюдь не коричневый цвет, являющийся признаком разложения хлорвинила.

Требуемый для сварки расход воздуха невелик и составляет не более 3—5 м<sup>3</sup>/ч при давлении 100—150 кПа (1—1,5 атм). Небольшой избыток давления в воздушной сети до 600 кПа (6 атм) можно погасить краном на входе воздуха в горелку. Однако регулирование температуры воздуха в месте сварки при помощи такого крана часто происходит довольно грубо. Более тонкое регулирование осуществляется при помощи второго крана, установленного на ответвлении от воздушной трубки, до входа воздуха в горелку. Этот кран позволяет выпускать часть воздуха наружу, минуя горелку. Способ, конечно, неэкономичный, но при малом расходе воздуха его можно применять для обеспечения плавного регулирования температуры при сварке.

Нагрев воздуха осуществляется электрическим нагревателем мощностью от 150 до 500 Вт. Нихромовые спирали нагревателя уложены в пазы (или каналы) керамического каркаса и питаются током через трансформатор с выходным напряжением 36 В. Воздух проходит через каналы со спиралями и выходит из горелки через сопло диаметром около 2 мм, закрепленное на конце трубки, загнутой для удобства работы под углом 30—45° к оси горелки. Нагреватель закрыт металлическим кожухом с прокладкой асбеста между стенкой кожуха и нагревателем. Кожух нагревателя, являющийся основной несущей деталью конструкции, снаб-

жен деревянной или пластмассовой рукояткой pistolетного типа или типа ручки электропаяльника, сквозь которую проходит воздушная трубка и электропровода.

Слабое место самодельных горелок — часто перегорающая нихромовая спираль, особенно в месте ее соединения с питающими медными проводами, даже несмотря на то, что их крепление с концами спирали, как правило, располагают у входа в нагреватель холодного воздуха. Очень долговечной оказалась редко упоминаемая в литературе горелка, состоящая из нагревателя в виде свернутой в цилиндрическую спираль особо тонкостенной трубки из коррозионно-стойкой стали, по которой подается нагреваемый воздух. К началу и концу спиральной трубки присоединяются провода относительно массивными медными хомутками. При этом получается надежный и долговечный контакт.

Из ассортимента ГОСТ 10498—63 наиболее удобна самая маленькая трубка с наружным диаметром 4 мм и толщиной стенки 0,2 мм из стали марки 06X18H10T. Ее электрическое сопротивление составляет приблизительно  $0,7 \text{ Ом}/(\text{мм}^2 \cdot \text{м})$ . При наружном диаметре спирали 40 мм, мощности нагревателя 200 Вт и напряжении питающего тока 12 В требуется трубка длиной 2456 мм, которую легко свернуть в спираль длиной 130 мм (при зазоре между витками 2 мм). При этом электрическая нагрузка составляет  $0,65 \text{ Вт}/\text{см}^2$ . Горелка описанной конструкции удобна по габаритам и весу.

Горелки такого типа практически неприменимы при напряжении свыше 12 В. При наименьшем сечении трубки, предусмотренном ГОСТ 10498—63, спираль, предназначенная для работы при напряжении свыше 12 В, получается очень большой и работа с такой горелкой будет затруднительна. Горелка же, рассчитанная на напряжение 12 или 6 В, может питаться от имеющихся в гальванических цехах источников постоянного тока, что удобно, эффективно и безопасно.

Промышленность выпускает горелку для сварки пластмасс марки ГЭП-1А-67 со следующей характеристикой: диаметр воздушного шланга 6 мм; питание от трансформатора 220/36 В, потребляемая мощность 500 Вт; давление воздуха до 500 кПа (5 атм); толщина

свариваемого материала до 10 мм; диаметр присадочного прутка 3—5 мм; скорость сварки при однослойном шве не менее 20 м/ч; расход воздуха 3—5 м³/ч; масса горелки 0,68 кг.

Расчет нагревателя для сварочной горелки из свернутой в спираль тонкостенной трубки из коррозионно-стойкой хромоникелевой стали. Площадь сечения трубки (мм²)

$$S = \pi (D\delta - \delta^2), \quad (1)$$

где  $D$  — наружный диаметр трубки, мм;  $\delta$  — толщина стенки трубки, мм.

Длина трубки (мм)

$$l = \frac{1000U^2}{W\rho}, \quad (2)$$

где  $U$  — напряжение питающего тока, В;  $W$  — мощность нагревателя, Вт;  $\rho$  — удельное электрическое сопротивление металла трубки, Ом/(мм²·м).

Плотность теплового потока поверхности трубки (Вт/мм²)

$$q = \frac{W}{0,01\pi D l}. \quad (3)$$

Длина спирали свернутой трубки (мм)

$$L = \frac{l(D+z)}{\pi(D'-D)}, \quad (4)$$

где  $D'$  — наружный диаметр витка, мм;  $z$  — зазор между витками, мм.

### П р и м е ч а н и я.

1. К уравнению (2): под длиной трубки подразумевается только ее длина между контактными хомутиками; для стали марок 06X18H10T, X18H9 и X18H8 можно принять  $\rho = 0,7$  Ом/(мм²·м).

Если удельное сопротивление металла трубки неизвестно, то можно подобрать ее длину, нужную для получения заданной электрической мощности, присоединив один контакт источника тока, дающего заданное напряжение, к концу трубки, и передвигая другой контакт вдоль трубки до тех пор, пока включенный последовательно с ней амперметр не покажет силу тока, соответствующую требуемой мощности нагревателя.

При работе нагревателя горелки на переменном токе его мощность теоретически следовало бы взять несколько большей, чем при питании постоянным током (на величину реактивной мощности), но при малом количестве витков спирали и отсутствии железного сердечника реактивной мощностью можно пренебречь. Мощности нагревателя в 150 Вт вполне достаточно для обычных нужд.

2. К уравнению (3): плотность теплового потока поверхности трубки не должна превышать 3,5 Вт/см²; не следует включать ток при закрытом воздухе.

3. К уравнению (4): при величине зазора, меньшей диаметра трубки, рекомендуется проложить между витками асбестовую бумагу во избежание касания витков.

## 5. Футеровка хромировочных ванн армированным стеклом

Этот вид футеровки применим только в хромировочных ваннах со стандартным электролитом. Электрическое сопротивление металлической стенки (дна) ванны во много раз меньше сопротивления электролита. Поэтому, если в каком-нибудь месте ванны неизолированная стенка окажется близкой к аноду, а в каком-либо другом, пусть даже отдаленном от первого, месте она будет близка к детали, то весьма значительная часть тока может ответвиться от нормального пути и пойти с анода через электролит к стенке, которая в этом месте будет катодом, пройти по стенке до места, близкого к детали, и там перейти через электролит на деталь (стенка в этом месте будет анодом).

На катодном участке стенки возможно осаждение металла, а на анодном — растворение стенки. Стенка в этом случае окажется биполярным электродом (рис. 6). Биполярные электроды иногда используются сознательно для различных целей, но гораздо чаще они образуются самопроизвольно (например, при неудачной завеске деталей) и могут быть причиной очень неприятного нарушения распределения тока по деталям и коррозии стенки.

В хромировочной ванне, если ее стальная стенка не защищена футеровкой, в местах анодной поляризации таких биполярных электродов происходит весьма заметная коррозия стенки и, соответственно, загрязнение электролита трудноудаляемыми солями железа. Однако при отсутствии анодной поляризации железо вполне устойчиво в хромовом электролите, не содержащем фторидов и кремнефторидов, в присутствии которых происходит коррозия стали даже при катодной поляризации.

Если защитить стенки ванны от анодной поляризации, а это можно сделать обложив стенки и дно ванны листовым стеклом, то удастся решить сразу три задачи: избавиться от дорогой и не очень стойкой свинцовой футеровки, исключить возможность образования биполярных электродов и улучшить теплопередачу от пароводяной рубашки. Последнее обеспечивается тем, что листовое стекло ставится к стенкам свободно, между

стенкой и стеклом остается жидкостная проточная прослойка электролита, теплопроводность которой значительно лучше, чем воздушной прослойки под свинцом. Стыки между стеклянными листами герметизировать не требуется, между листами могут даже оставаться щели шириной до 10 мм, не влияющие на работу стеклянной футеровки.

Использовать для стеклянной футеровки обыкновенное оконное стекло не представляется возможным,

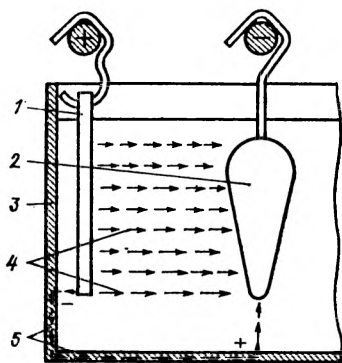


Рис. 6. Работа металлической стенки ванны в качестве промежуточного электрода:

1 — анод; 2 — деталь; 3 — металлическая стенка ванны, не изолированная со стороны электролита; 4 — нормальный путь тока через электролит; 5 — путь тока через электролит и металлическую стенку

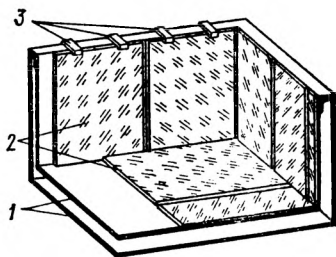


Рис. 7. Футеровка хромировочной ванны армированным стеклом:

1 — хромировочная ванна (с водной рубашкой); 2 — листы армированного стекла; 3 — скобки, крепящие верхние края вертикально стоящих листов стекла

так как от колебаний температуры оно растрескивается, обнажая большие участки стальной стенки. Применять нужно так называемое «армированное стекло» (ГОСТ 7481—78) толщиной 5,5 мм с запрессованной в него проволоочной стальной сеткой. Такое стекло широко используется для застекления фонарей на крышах заводских зданий. Это стекло, если и растрескивается, то полностью не разрушается. Однако у него есть существенный дефект — его трудно резать. Даже у опытных стекольщиков брак при резке велик. Чтобы уменьшить число резов, надо выбирать размеры листов по возможности кратными размерам ванны и равными

ее высоте. Однако для распространенных размеров ванн без обрезки использовать их трудно.

На дно ванны листы кладутся без всякого крепления, а стекла, стоящие вдоль стенок, должны быть закреплены. Для этого достаточно надеть на край ванны и на верхний край каждого листа стекла пару П-образных скобок, согнутых из проволоки или полосы кровельного железа (рис. 7). Футеровать стенки ванны короткими (по высоте) листами, расположенными в несколько ярусов, очень сложно, пришлось бы приваривать к стенкам какие-то крепления для удержания верха одного и низа следующего ярусов.

При разработке этого способа две небольшие одинаковые ванны были залиты одинаковым электролитом и эксплуатировались на обработке однотипных деталей в течение семи месяцев, но одна ванна была футерована свинцом, другая — армированным стеклом. За это время в ванне со свинцовой футеровкой накопилось 3,4 г/л железа, а в футерованной стеклом — 4,5 г/л, что в обоих случаях значительно ниже допустимой величины загрязнения железом (10 г/л).

## 6. Обогрев ванн

**Обогрев паровым змеевиком.** Самым распространенным нагревателем в гальванических цехах является, конечно, паровой змеевик, трубы которого изготавливаются из малоуглеродистой или коррозионно-стойкой стали, свинца, титана или латуни. Малоуглеродистая сталь устойчива в щелочных растворах и достаточно устойчива в водопроводной воде. Коррозионно-стойкая сталь (особенно хромоникелевая марок Х18Н8—Х18Н10), кроме того, устойчива в растворе крепких минеральных кислот при наличии в смеси некоторого количества азотной кислоты или иных окислителей и при отсутствии соляной или плавиковой кислот. Свинец нестойк в присутствии азотной и соляной кислоты. Титан, несмотря на его высокую стойкость в большинстве гальванических растворов, совершенно не годится для ванн травления в горячей серной кислоте с концентрацией 10—20 % и, тем более, в соляной — он разрушается за две недели работы. Латунный змеевик сравнительно легко очищается от накипи фосфорно-

кислых солей, в то время как стальной очистить почти невозможно, его приходится заменять новым, когда корка накипи становится слишком толстой.

Из двух применяемых способов установки змеевика в ванне—прокладка труб змеевика через низ стенки ванны на сварке с ванной или свободно лежащий змеевик с выводом труб над краем ванны — следует безусловно предпочесть второй. Змеевик легко вынимается из ванны, что важно при ремонте змеевика или чистке ванны. Опасаться затруднений при удалении конденсата из вертикального участка выходной трубы не приходится — для этого при глубине ванны в 1 м требуется давление пара только 10 кПа (0,1 атм).

Располагать змеевик можно и на дне, и вдоль какой-либо вертикальной стенки ванны. Расположенный на дне змеевик имеет более высокую теплоотдачу, а расположенный вдоль стенки — меньше мешает извлечению упавших деталей и не вызывает подгара нижних концов деталей (биполярный эффект). Донный змеевик не следует класть непосредственно на дно. Следует подложить под него, например, пару отрезков угловой стали размером  $20 \times 20$  мм углом вверх. Автору довелось столкнуться с очень сильной коррозией свинцовых змеевиков и дна ванны под ними при укладке змеевиков непосредственно на дно, по-видимому, вызванной сильным перегревом раствора и «щелевым» эффектом.

Вентили должны устанавливаться как перед змеевиком на линии пара, так и после змеевика на линии конденсата, чтобы змеевик можно было снять не отключая всю паровую сеть цеха. На электролизных ваннах соединение змеевика с вентилями делается короткими резиновыми шлангами, закрепленными на трубах хомутами или фланцами с изолирующей прокладкой и хорошо изолированными болтами во избежание утечки тока через трубопроводы в другие ванны.

**Обогрев пароводяной рубашкой.** Пароводяная рубашка греет несколько медленнее, чем паровой змеевик, но при правильно выбранном объеме она несравненно устойчивее и точнее поддерживает заданную температуру раствора в ванне. Рекомендуется выбирать объем рубашки в пределах 40—60 % от объема рабочего рас-

твора во внутренней ванне, причем уровень раствора в обоих сосудах примерно одинаковый. При таком соотношении легко удастся поддерживать температуру электролита в хромировочной ванне с точностью  $\pm 1^\circ\text{C}$ , регулируя ее примерно каждые полчаса.

Внешние стенки и дно рубашки (рис. 8) образованы наружной ванной, в которую вставлена внутренняя (рабочая) ванна. Зазор между их боковыми стенками составляет 50—100 мм

и между доньями — 75—150 мм. Внутренняя ванна опирается краями своей обвязки из углового железа на края наружной ванны; а дно внутренней ванны свободно лежит на двух поперечных швеллерах, нижние горизонтальные полки которых приварены к дну наружной ванны примерно на расстоянии  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$  длины внутренней ванны от концов последней. Швел-

леры почти не выступают за пределы внутренней ванны и имеют в своей вертикальной стенке несколько (нечетное количество) крупных отверстий диаметрами 50—70 мм. Зазоры между концами швеллеров и стенкой, а также отверстия служат для улучшения циркуляции греющей воды.

Через торцовую стенку наружной ванны и средние отверстия в швеллерах проходит труба барботера. К стенке ванны она приварена герметично, в отверстиях швеллеров лежит свободно. По всей длине трубы барботера по ее горизонтальному диаметру просверлены сквозные отверстия, размер которых увеличивается по мере удаления от начала трубы к ее заваренному наглухо концу тремя или четырьмя группами диаметрами от 2 до 4 мм для малых ванн и от 3 до 6 мм для больших примерно с одинаковым количеством от-

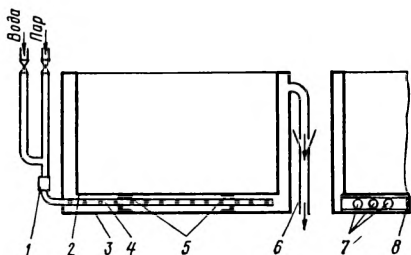


Рис. 8. Ванна с пароводяной рубашкой:

- 1 — изолирующий резиновый шланг; 2 — дно внутренней (рабочей) ванны; 3 — дно рубашки; 4 — барботер; 5 — опорные швеллеры; 6 — канализационная труба с воронкой, в которую вода из сливной трубы стекает свободной струей; 7 — циркуляционные отверстия в швеллерах; 8 — отверстия в швеллерах для свободного прохода барботера

верстий в каждой группе и с одинаковыми расстояниями между ними. Сумма площадей всех отверстий должна быть примерно в 3 раза больше сечения трубы барботера.

Пар и вода, пройдя обычные вентили, смешиваются в простом водопроводном тройнике, откуда по общей трубе горячая вода поступает в барботер, проходя по пути через небольшой разрыв трубы, соединенный резиновым шлангом, для электроизоляции ванны. Пускать в барботер пар без воды не следует, так как врывающиеся в рубашку и конденсирующиеся пузыри пара вызывают вибрацию и быструю поломку днища внутренней ванны. При разогреве ванны не должны быть слышны треск и удары входящего пара.

Поступившая через барботер вода и сконденсировавшийся пар удаляются через сливную трубу, приваренную к середине торцовой стенки, противоположной входу барботера, на высоте, приблизительно соответствующей рабочему уровню раствора во внутренней ванне или немного выше этого уровня.

Сечение ее должно быть в 4 раза больше сечения трубы барботера (диаметр — вдвое больше). Сливную трубу рубашки не следует жестко соединять с канализационной трубой; нужно, чтобы вода из рубашки на каком-то хорошо видимом и доступном для взятия проб участке текла хотя бы короткой, но свободной струей в воронку канализационной трубы. Это заменяет электрическую изоляцию и помогает своевременно обнаружить течь рабочей ванны по изменению цвета сливающейся воды.

Оба вентиля — паровой и водяной — следует расположить на нормальном рабочем уровне — 800 мм над уровнем напольной деревянной решетки в хорошо доступном месте, так как эти вентили — основной инструмент для регулирования температурных режимов ванны.

Стык наружного края обвязки внутренней ванны с краем внешней стенки рубашки лучше заварить наглухо во избежание выбросов пара и горячей воды через оставшуюся щель, могущих обжечь работающих. Доступ внутрь рубашки для ремонта не требуется, так как отверстия барботера накипью не забиваются,

а коррозионные повреждения швов обычно проваривают снаружи<sup>1</sup>.

**Обогрев перегретым паром.** Если требуется нагреть ванну выше 100 °С, то обычно прибегают к помощи электронагрева, несмотря на связанные с ним затруднения. Но если завод располагает перегретым паром низкого давления, то лучше воспользоваться им как источником тепла, хотя его применение и неэкономично, но зато удобно и безопасно. Дело в том, что в обычных паровых нагревателях пар отдает большую часть своей теплоты (почти 90 %) при конденсации в воду. При необходимости же нагрева выше 100 °С нельзя допускать конденсации пара, его приходится выпускать наружу при температуре выше рабочей температуры ванны. К этому основному недостатку пользования перегретым паром добавляется еще и плохая по сравнению с насыщенным паром, теплопередача от перегретого пара к металлической стенке ванны.

В силу вышеуказанных причин обогрев перегретым паром с выпуском его в атмосферу без конденсации применяется чрезвычайно редко вследствие неэкономичности такого способа нагрева.

Однако для небольших ванн такое использование теплоты пара вполне может быть оправдано простотой и безопасностью. На одном из заводов была изготовлена ванна для химического полирования алюминия с обогревом перегретым паром, поступающим в заводскую сеть с температурой 210—240 °С и доходившим до гальванического цеха примерно при 170 °С (процесс полировки идет при 105—110 °С).

Для улучшения теплопередачи к стенкам внутренней ванны были приварены со всех четырех сторон ребра, образовавшие некоторое подобие четырехзаходного винта, каждая нитка которого делала вокруг ванны восемь оборотов, заканчивавшихся примерно на уровне зеркала раствора во внутренней ванне. Образовавшиеся между ребрами и стенками ванны и рубашки каналы имели квадратное сечение, приведенная площадь которого равнялась площади паро-

---

<sup>1</sup> В отличие от барботера внутри рубашки все барботеры, змеевики и прочие трубы, находящиеся в рабочей ванне, должны быть легкодоступны и легкоосъемны.

подводящей трубы. Таким образом, пар при входе в рубашку, разделившись по четырем каналам, расширился в 4 раза, что не вызывало заметной конденсации (рис. 9). Пар подавался из кольцевой трубы в начало каждого винтового хода, а выходил из верхней части рубашки по одной трубе прямо в атмосферу. Никаких конденсирующих устройств устанавливать нельзя (в этом причина неэкономичности установки). Однако

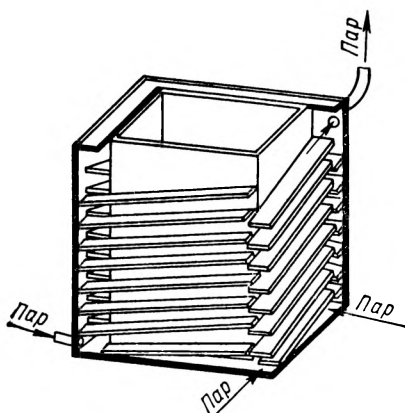


Рис. 9. Ванна с устройством для обогрева перегретым паром

эти устройства дают возможность получить высокотемпературный нагрев.

Для удобства сборки ванны ребра приваривались к стенкам внутренней ванны односторонним швом с верхней стороны ребра. Давление пара было около 200 кПа, так что особой прочности от сварки не требовалось. Стыки концов ребер на одной стенке ванны с началами ребер на соседней не подгонялись плотно

друг к другу и между продольными краями ребер и стенкой рубашки тоже оставались щели. Предполагалось, что эти щели и неплавности переходов только полезны, ибо вызывают завихрения, улучшающие теплопередачу. В первоначальном исполнении внутреннюю ванну с наваренными ребрами с большим трудом вставили в заранее сваренную рубашку, впоследствии поступили проще и с меньшим риском погнуть ребра к готовой внутренней ванне приложили по отдельности стенки рубашки и сварили их между собой вокруг внутренней ванны. Снаружи рубашку изолировали асбестовым шнуром. Разогревалась эта ванна очень быстро (примерно за полчаса) и хорошо держала тепло.

Так как процесс химического полирования экзотермичен, то для охлаждения ванны, требующегося при интенсивной работе, была сделана подводка сжатого воздуха в рубашку через подающую пар трубу.

Разумеется, на время впуска охлаждающего воздуха пар перекрывался вентилем. Воздух подавался под давлением 600 кПа по трубке диаметром 10 мм и очень интенсивно охлаждал ванну. В дне рубашки был сделан кран для спуска конденсата перед началом работы.

**Обогрев электронагревателями.** При отсутствии пара или если необходимо нагреть раствор до температуры, превышающей возможности парового нагревателя, приходится воспользоваться менее удобным, хотя и эффективным, электронагревателем. При пользовании электрическим током с напряжением выше 36 В заземление корпуса ванны является обязательным. Каждую заземленную электролизную ванну надо питать от отдельного источника постоянного тока, иначе очень трудно избежать возникновения паразитных связей между измерительными приборами сопряженных ванн, сильно искажающих их показания.

В качестве электронагревателей проще и надежнее применять фабричные нагреватели типа ТЭН (ГОСТ 19108—73). Эти нагреватели изготавливаются в обычных (некоррозионно-стойких) чехлах и в чехлах из коррозионно-стойких материалов. Если нагревателей в коррозионно-стойких чехлах не окажется под руками, то лучше всего сделать ванну с водяной рубашкой и опустить в рубашку нагреватели в обычных чехлах, тщательно выполнив защитные козырьки над клеммами нагревателей.

Один из вариантов самодельных нагревателей представлен на рис. 10. Его устройство следующее. В прямоугольном поддоне, согнутом из листа кровельного или более толстого железа, уложены плашмя несколько стандартных шамотных кирпичей (размер кирпича  $250 \times 125 \times 65$  мм). На верхней плоскости кирпичей при помощи зубила и молотка (шамот легко им поддается) выбита канавка, глубина которой на 1—2 мм больше диаметра спирали, а длина ее соответствует длине слегка растянутой (чтобы витки не касались друг друга) нихромовой спирали. Концы спирали выведены к двум клеммам, закрепленным либо в самом кирпиче, либо в приделанном к поддону щитке из шифера или асбоцемента. Щиток лучше поместить на той стороне поддона, которая при установке нагревателя

на стенку ванны придется внизу. На задней стенке поддона приварены две или четыре проушины.

Поверх кирпичей и уложенной в пазы спирали кладут лист тонкого асбестового картона (ГОСТ 2850—75) или асбестовой бумаги (ГОСТ 23779—79), прикладывают нагреватель к ванне и прижимают его к стенке приваренными к ванне и пропущенными сквозь про-

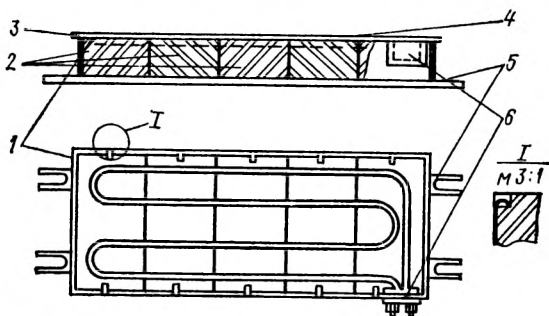


Рис. 10. Электрический нагреватель:

1 — корпус нагревателя; 2 — шамотные кирпичи; 3 — канавка в кирпичах для укладки нихромовой электронагревательной спирали; 4 — прокладка асбеста между нагревателем и стенкой ванны (асбестовая бумага толщиной 1 мм); 5 — планка с проушинами для прижима нагревателя шпильками к стенке или дну ванны; 6 — клеммный щиток (асбоцемент, бакелит, эбонит и т. п.)

ушины болтами или шпильками. Асбестовый лист нужен для того, чтобы нагретая спираль при короблении не вызвала короткого замыкания.

Наличие этого листа является первым обязательным условием. Вторым обязательным условием является приварка сплошным швом к стенке ванны над нагревателем более широкого и более длинного, чем толщина и длина нагревателя, козырька из стойкого к действию раствора ванны материала, чтобы пролитый при извлечении подвесочного приспособления из ванны раствор не потек по стенке в нагреватель. И третье, обязательное условие, — наличие надежной крышки на клеммном щитке спирали, защищающей от попадания раствора и от нечаянного касания человеком. Все эти три условия обязательны при любом напряжении питающего тока. При напряжении выше 36 В корпуса ванны и нагревателей должны быть заземлены.

Нагреватели могут быть установлены на одной или нескольких стенках и под дном ванны. Размер каждого нагревателя лучше брать таким, чтобы его было легко снимать для ремонта (масса одного кирпича 6,5—7 кг).

**Обогрев джоулевой теплотой.** Джоулева теплота — это количество теплоты, выделяющееся в твердом или жидком проводнике при прохождении через него тока, равное (Дж)  $Q = UIt$ , где  $U$  — напряжение, В;  $I$  — сила тока, А;  $t$  — время прохождения тока, с.

В ваннах, работающих при больших объемных плотностях тока (силе тока на 1 л объема ванны), например в хромировочных ваннах, эта величина довольно значительна. При объемной плотности тока около 2 А на 1 л электролита при 55 °С джоулева теплота примерно уравнивает потери теплоты хромировочной ванной (при работающей вентиляции и открытом зеркале раствора) и ванна устойчиво держит температуру. При меньших объемных плотностях тока ванну приходится подогревать, а при больших — охлаждать. В аварийных случаях, когда не хватает пара, опытному хромировщику удастся иногда разогреть ванну с посторонними катодами, а затем при хромировании поддерживать температуру ванны выбрав подходящую величину поверхности загруженных деталей и подбором (в допустимых пределах) плотности тока. Это не просто, но возможно.

**Расчет нагревателей** начинается с определения количества теплоты, которое нужно подвести к гальванической ванне для ее разогрева до рабочей температуры.

Приводимые ниже расчеты выполнены для условий, наиболее часто встречающихся в гальванических цехах при потребности в подогреве ванн. Эти условия следующие. Разогрев ведется от начальной температуры раствора 20 °С до рабочей температуры 70 °С; температура воздуха в помещении ванн 20 °С; время разогрева  $\tau$  часов; принудительная вентиляция со скоростью протока воздуха над зеркалом раствора порядка 6 м/с (при отсутствии вентиляции соответствующий член уравнения должен быть исключен из расчета).

В расчете предусмотрено отсутствие какого-либо укрытия на зеркале раствора (крышек, поплавков, пены и т. п.) и тепловой изоляции стенок ванны. Если фактические условия работы ванны существенно отличаются от вышеуказанных, то рекомендуется вести расчет не по приведенным далее упрощенным уравнениям, а составить полный тепловой баланс, воспользовавшись для этого общими руководствами по теплотехническим расчетам.

Гальванику очень редко приходится делать тепловые расчеты своих ванн с учетом всех минимальных статей расхода теплоты, не только потому, что в условиях производственного гальванического цеха затруднительно, а часто и невозможно точно определить все параметры, необходимые для детального расчета, но, главным образом, потому, что даже наиболее важные параметры практически колеблются в значительно больших пределах, чем расхождения, вызываемые предлагаемыми в этом и следующих параграфах упрощениями при теоретических расчетах.

В цехе редко можно рассчитывать на поступление пара или горячей воды с постоянной расчетной теплопроизводительностью, на одинаковые условия охлаждения ванн и т. д. Поэтому цеховому инженеру или рационализатору проще и выгоднее рассчитать нагреватель только по главнейшим статьям расхода теплоты, но с небольшим запасом и в случае надобности прикрыть вентиль или выключить ток и даже, в крайнем случае, примириться с некоторым увеличением времени разогрева ванны. Такой небольшой запас мощности заложен и в предлагаемые способы расчетов, позволяющие в большинстве случаев отклониться от принятых в начале этого параграфа условий нагрева ванны, например, при несколько большей температуре. Исключение могут представить такие специальные случаи как расчет многотысячелитровых ванн для конвейерных автоматов или ванн для обработки чрезвычайно массивных предметов, например прокатных валов, но ведь такие сложные установки обычно проектируются и рассчитываются не в цехе, а квалифицированными проектными институтами.

Подводимое к ванне в течение каждого часа разогрева количество теплоты должно возместить потери на нагрев раствора до рабочей температуры, на охлаждение наружных стенок и дна ванны и на охлаждение зеркала раствора.

Для упрощения расчета пренебрегаем потерями на нагрев анодов и деталей и уносом теплоты при перемешивании раствора сжатым воздухом, но зато пренебрегаем и Джоулевой теплотой, полагая, что в подавляющем большинстве случаев эти величины малы по сравнению с приведенными выше основными статьями теплового баланса. Тогда количество теплоты, которое следует подводить каждый час к ванне, при наличии принудительной вентиляции составит (кДж)

$$Q = 270m/\tau + 610S + 130\,000F/\tau, \quad (5)$$

а при отсутствии принудительной вентиляции (кДж)

$$Q' = 270m/\tau + 610S, \quad (6)$$

где  $m$  — масса раствора в ванне, кг;  $\tau$  — время разогрева ванны до рабочей температуры, ч (обычно это время принимают равным от 1 до 3 ч);  $S$  — площадь стенок и дна ванны, м<sup>2</sup>;  $F$  — площадь зеркала раствора, м<sup>2</sup>.

Плотность большинства гальванических растворов, кроме воды в промывочной ванне, можно принимать равной 1200 кг/м<sup>3</sup>. Во втором члене каждого из этих уравнений заложен коэффициент теплоотдачи стенки ванны. Расчет показывает, что для всех обычно применяемых в гальваническом производстве материалов и толщин стенок и футеровки (углеродистая, коррозионно-стойкая сталь,

без футеровки или с футеровкой из свинца, винипласта<sup>1</sup>, пластика, полистирола, полипропилена) при толщине порядка 7—10 мм для металлов и 2—3 мм — для прочих материалов коэффициент теплопередачи оказывается небольшим, колеблющимся для всех разбираемых случаев от 17 до 21 кВт/(м<sup>2</sup>·°С). Поэтому для расчета принята его средняя величина — 19 кВт/(м<sup>2</sup>·°С) исключение составляет ванна с пароводяной рубашкой.

Расчет парового нагревательного змеевика для нагрева раствора ванны с 20 до 70 °С насыщенным паром давлением 200 кПа можно произвести по следующим приближенным уравнениям:

длина трубы змеевика (м)

$$l = 0,037 \sqrt{Q}; \quad (7)$$

диаметр (внутренний) трубы змеевика (мм)

$$d' = 0,044 \sqrt{Q}, \quad (8)$$

где  $Q$  — количество теплоты, которое нужно подводить к ванне за каждый час разогрева, вычисляемое по уравнению (5) или (6), кДж.

Полученный из уравнения (8) расчетный диаметр трубы заменить ближайшим большим из предусмотренных сортаментом труб.

Этими формулами можно пользоваться и при несколько отличающихся от вышеуказанных условиях, но для нагрева ванны до 90—100 °С следует увеличить длину змеевика в полтора раза.

В дополнение к сказанному в п. 4 о выборе объема пароводяной рубашки приводим приближенный расчет трубы барботера, достаточно точный для практических целей.

Сначала подсчитывают количество теплоты (кДж), которое нужно подводить к ванне каждую минуту, чтобы разогреть ее за  $\tau$  часов до рабочей температуры 70 °С. Расчет ведут по уравнению, аналогичному уравнению (5), но коэффициент при втором члене здесь будет больше из-за наличия пароводяной рубашки

$$Q'' = 270m/\tau + 38\,100S'' + 130\,000F''/\tau \quad (9)$$

или при отсутствии принудительной вентиляции, по уравнению

$$Q''' = 270m/\tau + 38\,100S'', \quad (10)$$

где  $m$  — масса раствора во внутренней (рабочей) ванне, кг;  $S''$  — площадь поверхности стенок и дна внутренней ванны, м<sup>2</sup>;  $F''$  — площадь поверхности зеркала раствора во внутренней ванне, м<sup>2</sup>;  $\tau$  — продолжительность разогрева ванны до рабочей температуры, ч.

Принимаем, что вода после смешивания с паром входит в барботер при 100 °С, а выходит из рубашки при 80 °С. Температура выходящей воды должна быть несколько выше рабочей. Тогда вну-

---

<sup>1</sup> При футеровке из свинца или винипласта не учтена воздушная прослойка.

трений диаметр трубы барботера, способной пропустить нужное часовое количество воды с паром, будет (мм)

$$d'' = 0,054 \sqrt[3]{Q''}, \quad (11)$$

где  $Q''$  — количество теплоты, которое необходимо подвести к ванне за каждый час разогрева, вычисляемое по уравнению (9) или (10), кДж.

Самодельный электрический нагреватель делать на напряжение выше 36 В и применять его во влажном помещении гальванического цеха более, чем нежелательно. Если другого выхода нет, то нужно установить ванну с таким нагревателем в наиболее сухом месте, тщательно заземлить ее корпус и выключать нагреватель (все питающие его провода) при загрузке и выгрузке деталей. Это отключение желательно автоматизировать — например, установить выключатель, срабатывающий при открывании крышки ванны (крышка и ручка ее должны быть изолированы).

Рассчитать и даже изготовить нагреватель на напряжение не выше 36 В возможно, но трудно уместить его в ванне или на ее стенках — уж очень он получается громоздким. Практически греть низковольтным нагревателем удастся только очень небольшие ванны.

Для расчета нагревателя из нихромовой проволоки с удельным сопротивлением  $1,1 \text{ Ом}/(\text{м} \cdot \text{мм}^2)$ , работающего в неподвижном воздухе, при допустимой нагрузке его поверхности  $1,5 \text{ Вт}/\text{см}^2$ , можно пользоваться следующими уравнениями:

при напряжении 220 В —

диаметр (мм) проволоки

$$d = 0,0085 \sqrt[3]{W^2}; \quad (12)$$

длина (м) проволоки

$$l = 34\,560 d^2 / W; \quad (13)$$

при напряжении 36 В —

$$d = 0,0285 \sqrt[3]{W^2}; \quad (14)$$

$$l = 925 d^2 / W; \quad (15)$$

при напряжении 12 В —

$$d = 0,059 \sqrt[3]{W^2}; \quad (16)$$

$$l = 103 d^2 / W; \quad (17)$$

где  $W$  — мощность нагревателя (Вт), равная  $0,28Q$  ( $Q$  подсчитывается из уравнения (9) или (10), кДж/ч);  $d$  — диаметр проволоки, мм.

## 7. Специальные конструкции ванн

**Ванна для химического обезжиривания.** Ванна для химического обезжиривания в щелочном растворе обычно применяется после оборудования для обезжиривания в органических растворителях, либо для

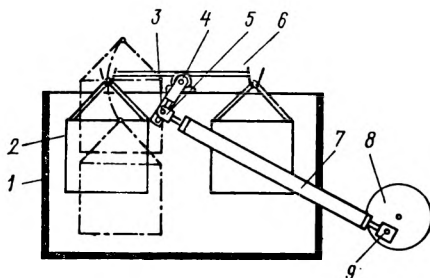
выполнения первого этапа обезжиривания перед последующими операциями более тщательного обезжиривания (обычно — электрохимического). В первом случае химическое обезжиривание должно удалить следы загрязнений остающихся на детали после испарения даже кажущейся чистой пленки последней порции растворителя, а во втором — в ванну химического обезжиривания поступают детали, загрязненные большим количеством минеральных и органических веществ.

В обоих случаях от этого процесса трудно требовать степени очистки поверхности деталей, нужной для безупречного сцепления покрытия. Бесполезно предъявлять такое требование на этой начальной стадии обезжиривания, поскольку последующие подготовительные операции оставят на детали свои загрязнения, которые потребуют проведения дополнительной, более тщательной заключительной операции обезжиривания — обычно электрохимической.

Химическое обезжиривание не очень крупных деталей, которые хорошо перемешиваются и не повреждаются вследствие небольших ударов при вращении, лучше всего вести в барабанных ваннах, аналогичных описанным в гл. 3 барабанам для гальванического покрытия мелких деталей, но со следующими отличиями: 1) все детали ванны, барабана и его привода делаются из углеродистой стали; 2) барабан и ванна не требуют футеровки; 3) перфорированный барабан может быть полностью или частично погружен в раствор, в неперфорированный — раствор может быть залит внутрь; 4) ванна для химического обезжиривания обязательно должна быть снабжена нагревателем любого типа, обеспечивающим рабочую температуру 70—90 °С; 5) барабан должен иметь устройство для его переноса (или перекидки) в промывочную ванну и устройство для его загрузки и разгрузки (обычно для всех этих целей служит то же подъемное устройство); частота вращения барабана 15—20 об/мин (при диаметре 500—700 мм).

Детали, которые плохо перемешиваются или могут быть повреждены в барабане, хорошо обезжиривать в ванне с качающимися корзинами (рис. 11). Поперек ванны в двух установленных на ее бортах подшипниках лежит вал, совершающий возвратно-поступательные

Каркас корзины 2 выполнен из углового железа и с боков и со дна обтянут железной сеткой. В верхней части каркаса с обеих сторон имеется по стойке, на



1 — ванна; 2 — корзина для деталей (пунктиром показаны верхнее и нижнее положения корзины); 3 — сушарь с пальцем; 4 — шатун; 5 — вилка с правой резьбой для хвостовике; 6 — коромысло с ловителем для цапф корзины; 7 — тяга с правой резьбой на верхнем конце и на верхней контргайке и с левой резьбой на нижнем конце и на нижней контргайке; 8 — шайба кривошипная на шестереночном валу редуктора; 9 — проушина с левой резьбой на хвостовике

34

менения подшипников скольжения трудно избежать попадания смазочного масла в ванну).

Для наладки механизма, а зачастую и для устранения неполадок в работе следует предусмотреть два регулировочных устройства. Одно служит для изменения высоты подъема корзин (угла поворота коромысел) и состоит из сухаря, могущего передвигаться в прорези в шатуне по длине последнего. В сухаре закреплен палец, который поворачивается в вилке верхнего конца тяги. Передвигая сухарь вдоль шатуна и закрепляя его в выбранном положении упорными болтами, можно менять длину плеча шатуна и ход коромысла.

Вторым регулирующим устройством является сама тяга 7, выполненная по принципу тальрепа; ее верхняя вилка 5 ввернута своим хвостовиком с правой резьбой в такую же резьбу на верхнем конце тяги с контргайкой, а проушина 9 на нижнем конце, надетая на палец шайбы 8, ввернута в тягу хвостовиком с левой резьбой (также с контргайкой).

Поворачивая тягу в ту или другую сторону, можно ее удлинять или укорачивать добываясь симметрии качания коромысла относительно горизонтального положения.

Следует учесть, что корзина движется по дуге, высота стрелки которой  $h = \frac{l}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{l^2 - C^2}$ , где  $l$  — длина коромысла, а  $C$  — высота хода корзины по вертикали. При выборе длины ванны нужно с каждого ее конца дополнительно оставить не менее  $h$  свободного пространства (мм).

**Пример.** Ход корзины по вертикали можно принять 300 мм, число качаний в минуту — 30. Коромысла, вал и его опоры рассчитаны по механической прочности на массу обеих полностью загруженных корзин, равную  $300 \times 2$  кг, а весь прочий механизм — только на допускаемую разницу загрузки корзин — 100 кг. Потребная мощность мотора, рассчитанная тоже только на неуравновешенный перегруз одной из корзин в 100 кг, получилась 0,6—0,8 кВт. Для загрузки, разгрузки и переноса корзин в установку и в промывочные ванны, над установкой на монорельсе был подвешен тельфер грузоподъемностью 500 кг.

Следует обратить внимание на жесткость стоек для цапф корзин (они могут быть погнуты при ударах о край ванны при неаккуратной завеске), однако делать между ними какие-либо распорки, проходящие

над загрузочным отверстием корзины, нельзя — они будут мешать загрузке и выгрузке деталей. Работающие на ванне должны быть проинструктированы относительно недопустимости неодинаковой загрузки одновременно работающих корзин сверх предусмотренной величины.

**Ванна для электрохимического обезжиривания.** Всякая операция подготовки деталей под нанесение покрытий, устраняя какие-нибудь дефекты поверхности — механическую шероховатость, слой окислов, жировых и прочих загрязнений — всегда оставляет, пусть меньшие, но заметные следы своих специфических загрязнений — остатков рабочих растворов, шлама, некоторых неудаленных компонентов грязи и вновь образовавшихся загрязнений (от прикосновения рук, от действия кислорода, паров органических веществ в воздухе и т. п.). Поэтому приходится почти все подготовительные операции повторять по нескольку раз с различными видоизменениями, подобранными таким образом, чтобы загрязнений на деталях оставалось как можно меньше и их было легко удалить.

Электрохимическое обезжиривание предназначено для удаления небольших остатков жировых и других загрязнений, однако очищенные детали могут загрязняться, если извлекать их из ванны через слой всплывающей на поверхность загрязненной пены. Вот почему существенным отличием ванны электрохимического обезжиривания является наличие устройства, облегчающего быстрое удаление пены с поверхности ванны. Такое устройство давно известно и, несмотря на высказываемые некоторыми сомнения в его эффективности, вполне работоспособно, если оно выполнено правильно. По непонятным причинам в последнее время в конструкцию ванн электрообезжиривания внесены «усовершенствования», проникшие даже в некоторые отраслевые нормы, существенно нарушающие работу этого устройства.

Принцип устройства для очистки от загрязнений поверхности раствора состоит в том, что в ванне создают плавное, без завихрений, движение верхнего слоя жидкости, направленное в сторону имеющегося в торцовом конце ванны кармана за счет тепловых конвекционных потоков в ванне. Это движение частично

сдвигает всплывающую на поверхность пену в сторону кармана, частично может даже сбрасывать ее в карман (при достаточно высоком уровне раствора), но не может очистить зеркало раствора полностью, потому что этому препятствует бурное газообразование в работающей ванне. Это конвекционное движение играет только вспомогательную, подготовительную роль. По окончании процесса обезжиривания выключают ток и добавляют в ванну небольшое количество жидкости (из расчета примерно 0,5 л на 1 м<sup>2</sup> зеркала ванны). Эта добавка поднимает уровень раствора немного выше края кармана и вызывает быстрый и полный слив пены и грязи с поверхности раствора в карман. После этого можно извлечь детали из ванны не опасаясь их загрязнения.

Направленное в сторону кармана движение поверхностного слоя раствора создается нагревающим змеевиком, расположенным в сравнительно узкой полости между противоположной карману торцевой стенкой ванны и приваренным к продольным стенкам ванны экраном, поднимающимся несколько выше верхней трубы змеевика, но не достигающим до уровня раствора на 20—40 мм и спускающимся ниже нижней трубы змеевика, но не достигающим до дна тоже на 20—40 мм (рис. 12).

Нагревшийся около змеевика раствор поднимается вдоль змеевика вверх, затем по верхнему слою раствор движется в сторону кармана, частично подгоняя к нему пену на поверхности. Затем, остывая, слой раствора опускается на дно и подсасывается оттуда обратно в отделение змеевика. Чтобы грязная пена при доливе раствора переливалась в карман ровной сплошной

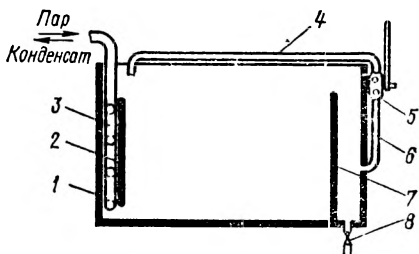


Рис. 12. Ванна для электрохимического обезжиривания:

1 — ванна; 2 — экран змеевик; 3 — змеевик; 4 — выходная труба из насоса в ванну; 5 — насос; 6 — заборная труба из кармана к насосу; 7 — перегородка кармана; 8 — кран для спуска грязи из кармана

струей по всей ширине ванны, не застываясь и не взмучиваясь, что очень важно для хорошей очистки зеркала, верхняя кромка кармана должна простираться поперек всей ванны, от одной до другой боковой стенки и иметь на всем протяжении совершенно ровную, строго горизонтальную кромку. Небольшая неровность или негоризонтальность верхнего края (кромки) кармана вызовет стекание пены через наинизшую точку, заставивание ее в других местах, взмучивание в верхнем слое раствора и его загрязнение. Выполнение этих требований к верхней кромке кармана очень важно для нормальной работы установки.

Боковые и нижний края перегородки (стенки) кармана должны быть наглухо приварены к боковым стенкам и дну ванны. Торцовая стенка ванны образует заднюю стенку кармана. Таким образом, глубина кармана равна рабочей глубине ванны. Это нужно для того, чтобы попадающая в него пена с раствором могла отстояться, твердые тяжелые загрязнения осели на дно, легкие жиры и масла всплыли наверх, а в середине остался достаточно чистый раствор, который следует использовать для долива ванны перед очередной ее разгрузкой.

Доливать ванну все время чистой водой нераціонально: она не успеет разложиться под действием тока или испариться за 2—3 мин обезжиривания, в результате чего раствор будет разбавляться водой и переливаться в канализацию. Поэтому в наружной стенке кармана на уровне примерно  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$  высоты кармана от дна делают сливной кран для отбора раствора и доливки его вручную или, лучше, отвод к заборному отверстию небольшого ручного насоса<sup>1</sup>, укрепленного в удобном месте снаружи ванны, выходная труба которого выведена в ванну через верхний край в конце, противоположном карману.

---

<sup>1</sup> Ручной насос типов БКФ-2 (НР-25); БКФ-4; НР-20; НР-40 и т. п. в чугунном корпусе; не путать марку НР с маркой РН, у которых корпус алюминиевый, для щелочных растворов непригодный. Производительность насоса должна быть такова, чтобы 1—3 качания насоса подавали из кармана в ванну не менее 0,05 л на 1 дм<sup>2</sup> площади поверхности зеркала. Для этого часовая производительность насоса на 1 дм<sup>2</sup> должна быть 0,003*n*—0,001*n*, где *n* — число двойных ходов насоса в минуту.

Для долива ванны достаточно сделать 2—3 качания рукоятки насоса, что не долго и не утомительно. В дне кармана делается патрубок, обязательно с вентилем, через который карман периодически освобождают от накопившегося ила. В самой ванне, как и в прочих ваннах с химическими растворами, сливного крана обычно не делают из опасения утечки через неисправный кран; сливают раствор при его смене сифоном (шлангом).

Часто предлагаемая в последнее время конструкция кармана, приваренного к наружной стороне ванны, неглубокого, сообщающегося с ванной узкой и короткой щелью, и с открытым стоком в канализацию, не может обеспечить хорошую очистку зеркала. При таком входе в карман образуются завихрения, грязь остается на зеркале, и существенная часть раствора уходит в канализацию.

**Ванна для оксидирования стали в щелочном растворе.** При щелочном оксидировании стали приходится доливать воду в нагретый до 140 °С раствор крепкой щелочи без опасения ошпариться<sup>1</sup>. Для этого рекомендуется через боковую стенку ванны вваривать трубку с воронкой на наружном конце. Воронка расположена вертикально, а трубка идет с небольшим уклоном к горизонтали и кончается внутри ванны несколько выше уровня раствора (рис. 13).

Ванна закрыта крышкой, которая открывается только при загрузке и выгрузке деталей. Поэтому вода, попадающая тонкой струйкой в перегретую по отношению к ней щелочь, хоть и вскипает, но не может быть выброшена наружу. Для облегчения открывания крышки, особенно на больших ваннах, желательно устроить педальный привод и снабдить крышку противовесом.

Это значительно облегчает работу, особенно когда руки работающего заняты деталями. Воду за-

---

<sup>1</sup> Это особенно важно при работе по способу постоянной температуры кипения. Этот способ более удобен, чем чаще применяемый способ работы с повышающейся от начала к концу процесса температурой кипения. Температура кипения легко поддерживается постоянной с точностью  $\pm 1$  °С с помощью периодического долива воды. При этом экономится время на охлаждение ванны и ее повторный разогрев и продукция получается однороднее.

ливают вручную, из кружки, небольшими порциями по 0,5—1 л за раз (для снижения температуры кипения до заданной нормы).

Второй особенностью этой ванны является крепление термометра. Температуру нужно измерять с точностью  $\pm 1^\circ\text{C}$  в интервале  $130\text{--}150^\circ\text{C}$ . Для этой цели нельзя использовать незащищенный стеклянный термометр, ибо его стекло

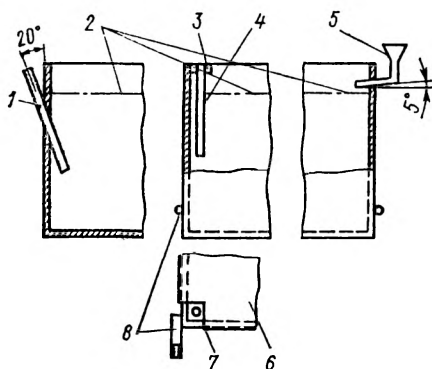


Рис. 13. Ванна для щелочного оксидирования стали:

1 — чехол для термометра (первый вариант); 2 — уровень раствора в ванне; 3 — кронштейн чехла по второму варианту (размер от  $50 \times 50$  до  $80 \times 80$  мм); 4 — чехол для термометра (второй вариант); 5 — воронка для долива воды; 6 — крышка ванны, подъемная — откидная на петлях (условно показана только на одной проекции); 7 — вырез в переднем углу крышки для прохода термометра (при чехле по второму варианту); 8 — шпильки для крепления проушин электронагревателя и прижима его к боковой стенке ванны (условно показаны только две шпильки)

при длительном пребывании в горячей крепкой щелочи быстро разрушается. Выход такой: вварить в удобном месте в стенку или в неоткидную часть крышки ванны стальную трубку небольшого диаметра, заваренную снизу и открытую сверху, залитую машинным маслом с температурой вспышки не ниже  $170^\circ\text{C}$ : АК-10 (автол-10); вазелиновое медицинское; промышленное 45 (машинное С); промышленное 50 (машинное СУ); тракторное АК-15 и т. п. В эту трубку вставляют хвостовик

стеклянного технического термометра так, чтобы его шкала была хорошо видна. Для уменьшения тепловой инерции, влияющей на запаздывание показаний термометра, надо выбирать сорта масел с возможно меньшей вязкостью.

Другой способ, менее удобный и менее надежный, но более простой, это погружать термометр в раствор только на минимальное время измерения, затем немедленно вынимать его, промывать водой и хранить вне ванны.

## 8. Межоперационная промывка

Межоперационная промывка деталей едва ли не самая важная операция во всяком гальваническом процессе. Хотя она и не участвует в образовании гальванического покрытия, но плохое ее выполнение может не только свести на нет все усилия по получению доброкачественного и красивого покрытия, но и испортить все рабочие растворы и даже оборудование. Дело в том, что при извлечении деталей из какого-либо раствора после стекания его излишка на них остается тонкая, но вполне ощутимая пленка раствора. Если детали с такой пленкой погрузить в другой раствор, то пленка в нем растворится и загрязнит его компонентами предыдущего раствора, которые для второго будут посторонними, а, следовательно, вредными. Поэтому после каждой операции должна производиться тщательная промывка в большом количестве чистой проточной перемешиваемой воды. Очень редко применяется перенос в следующую ванну без промывки — только в тех специальных случаях, когда следы первого раствора нужны для работы второго. Когда деталь с оставшейся пленкой раствора попадает в чистую воду, то компоненты раствора пленки начинают переходить (диффундировать) в прилегающий слой воды. Скорость этой диффузии снижается по мере того, как концентрация вещества в пленке будет убывать, а в прилегающем слое воды возрастет, т. е. по мере того, как разница концентраций будет уменьшаться. Когда эти концентрации сравняются, дальнейшее вымывание вещества из пленки прекратится и на деталях останется слой жидкости с этой сравнявшейся концентрацией.

При большом объеме воды растворенные компоненты будут диффундировать вглубь воды, снижая тем самым концентрацию в прилегающем к деталям слое, но это процесс медленный. Он ускоряется при подогреве воды, при ее перемешивании и, еще лучше, при непрерывном подводе свежей воды вместо прилегающего слоя. И все-таки процесс диффузии идет медленно, поэтому промывка, даже при всех ускоряющих факторах, требует небольшого, но существенного времени.

**Каскадная (многоступенчатая) противоточная промывка.** С теоретической точки зрения подводить к промываемой детали абсолютно чистую (не содержащую смываемых веществ) воду невозможно, ибо при первом же соприкосновении с деталью в нее перейдет какое-то количество этих веществ, но практически это в достаточной степени осуществимо при промывке сильной струей воды, не используемой повторно. Однако этот способ, помимо некоторых технических неудобств (например, плохой промывки углублений), обладает существенным недостатком — колоссальным расходом воды, что при теперешней ее нехватке в большинстве промышленных городов всего мира является недопустимым расточительством, а необходимость после использования очищать эту воду перед спуском в водоемы вызывает дополнительные расходы и технические затруднения. Вот почему сейчас все шире входит в обиход метод каскадной противоточной промывки, основанный на давно применяемом в химической промышленности принципе встречного движения растворяемого вещества и растворителя, в нашем случае — адсорбированного деталью слоя раствора и воды. Осуществляется это так: устанавливается две (редко три), промывные ванны, свежая вода поступает сначала в первую ванну, из нее переливается во вторую, затем — в третью и оттуда уходит в канализацию, а детали с пленкой адсорбированного раствора промываются сначала в третьей ванне, затем во второй и, наконец, в первой. Следовательно, детали, несущие пленку концентрированного раствора, сначала промываются более загрязненной водой, а по мере разбавления этой пленки встречаются с более чистой водой, что позволяет поддерживать все время достаточно большую разность концентраций загрязнений между пленкой на детали и подаваемой водой и очень существенно уменьшить расход воды. Правда, две ванны (третья требуется очень редко) занимают, казалось бы, больше места, чем одна, но зато их можно делать меньшего размера. Объем воды, окружающий подвесочное приспособление с деталями, играет в этом случае меньшую роль, а чем меньше объем ванны, тем при данном расходе вода в ней быстрее обновляется, что положительно влияет на качество промывки.

**Таблица 1. Концентрация основного компонента,  
остающаяся на промытой детали**

Операция перед промывкой	Основной компонент	Операция после промывки	Оста- точная концен- трация основного компо- нента $C_{\text{п}}$ , г/л
Анодное окис- ление	$\text{H}_2\text{SO}_4$	Наполнение, суш- ка	0,010
Активирование	В пересчете на $\text{H}_2\text{SO}_4$	Кислые электро- литы	0,100
	То же	Щелочные элек- тролиты	0,050
	»	Цианистые элек- тролиты	0,010
Кадмирование цианистое	CN	Межоперационная промывка, сушка	0,010
Кадмирование кислое	$\text{Cd}^{2+}$	То же	0,015
Меднение	$\text{Cu}^{2+}$ ; $\text{Cu}^{+}$	»	0,010
»	CN	»	0,010
»	$\text{Cu}^{2+}$ ; $\text{Cu}^{+}$	Никелирование	0,002
Наполнение хромпиком	$\text{Cr}^{6+}$	Сушка	0,010
Наполнение красителем	Краситель		0,005
Никелирование	$\text{Ni}^{2+}$	Меднение	0,020
»	$\text{Ni}^{2+}$	Хромирование, сушка	0,010
Обезжиривание	NaOH	Щелочной элек- тролит	0,800
	NaOH	Кислый или цианистый электро- лит, сушка	0,100
	NaOH	Анодное окисле- ние алюминия	0,050
Химическое окисление стали	NaOH	Промывка в мыль- ной воде, сушка	0,200
Оловянирова- ние	$\text{Sn}^{2+}$ ; $\text{Sn}^{4+}$	Межоперационная промывка, сушка	0,010
Осветление цинкового по- крытия	$\text{HNO}_3$	То же	0,200
Пассивирова- ние меди	$\text{Cr}^{6+}$		0,010
Химическое и электрохимиче- ское полирова- ние	$\text{Cr}^{6+}$	Межоперационная промывка, активи- рование	0,010

Операция перед промывкой	Основной компонент	Операция после промывки	Оста- точная концен- трация основного компо- нента $C_{\text{п}}$ , г/л
Травление алюминия	NaOH	Межоперационная промывка, сушка	0,100
Травление цветных метал- лов	HNO <sub>3</sub>	Межоперационная промывка, сушка, активирование	0,150
Травление черных металлов	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> или HCl	Межоперационная промывка, обезжи- ривание	0,050
Фосфатирова- ние	«Мажеф»	Межоперационная промывка, сушка, промасливание	0,020
Хромирование	Cr <sup>6+</sup>	Промывка раст- вором соды, сушка	0,010
Цинкование кислое	Zn <sup>2+</sup>	Осветление	0,010
Цинкование цианистое	CN		0,010
Железнение	Fe <sup>2+</sup>	Сушка	0,150
Серебрение, золочение, пла- тинирование, ро- дирование	Соли дра- гоценных металлов (в пересчете на металл)	»	0,001

Расход воды (л) на промывку 1 м<sup>3</sup> деталей

$$V = v \sqrt[N]{\frac{C_0}{C_{\text{п}}}}, \quad (18)$$

где  $v$  — унос раствора 1 м<sup>2</sup> деталей, л/м<sup>2</sup>;  $N$  — количество ступеней промывки (количество ванн, соединенных в противоточный каскад);  $C_0$  — начальная концентрация основного загрязняющего компонента в пленке на детали, т. е. концентрация его в ванне гальванической обработки, г/л;  $C_{\text{п}}$  — предельно допустимая концентрация загрязняющего компонента в последней ванне каскада, следовательно, и его концентрация в пленке, оставшейся на промытой детали, г/л.

Отношение  $K = C_0/C_{\pi}$ , показывающее, во сколько раз должна быть снижена в результате промывки концентрация основного компонента в пленке жидкости, удерживаемой на поверхности детали, называется критерием окончательной промывки.

Основной компонент (применительно к данному расчету) — это тот из компонентов раствора предыдущей перед промывкой операции, для которого критерий окончательной промывки больше, чем для всех прочих. Концентрация  $C_0$  этого компонента в пленке жидкости, унесенной деталью, равна его концентрации в предыдущем растворе, а оставшаяся после промывки его концентрация в пленке на деталях  $C_{\pi}$  равна его концентрации в последней промывочной ванне каскада. Величину  $C_{\pi}$  для расчета расхода воды можно брать из табл. 1, где она приведена в зависимости от назначения предыдущей перед промывкой операции и последующей, которую промывка должна защитить от загрязнения.

## 9. Конструкция промывочных ванн

Ванны для каскадной двухступенчатой промывки. Ванна (рис. 14) разделена на две равные части глухой перегородкой, доходящей до верхнего края ванны. Эти половины соединены между собой переливной трубой, которая начинается на первом отделении на высоте нормального уровня воды в нем и кончается во втором отделении на высоте примерно 100 мм от дна. Переливную трубу, ради экономии места в ванне, выгодно расположить не внутри, а снаружи ванны (по возможности на ее не рабочей стороне). Заборное и выходное отверстия располагают как можно ближе к перегородке.

В первом отделении делается заналичная труба для аварийного слива избытка воды в канализацию в случае засорения переливной трубы или погружения в ванну объемистой детали, вытесняющей больше воды, чем объем между нормальным уровнем и краем ванны. Этот объем нужно делать не меньше объема наиболее крупной серийной загрузки промывной ванны, не надеясь на заналичную трубу, ибо при быстром погружении деталей вода не успеет слиться в нее и плеснет через край на ноги рабочему. В большинстве случаев

достаточно сделать верхний край заналичной трубы на 20—30 мм выше верхнего края отверстия переливной трубы и на 50—80 мм ниже края ванны.

Во втором отделении также имеется заналичная труба, служащая и постоянной сливной трубой. Ее верхний край должен быть по меньшей мере на 50 мм ниже нижнего края заборного отверстия переливной трубы, чтобы разность уровней обеспечила достаточную

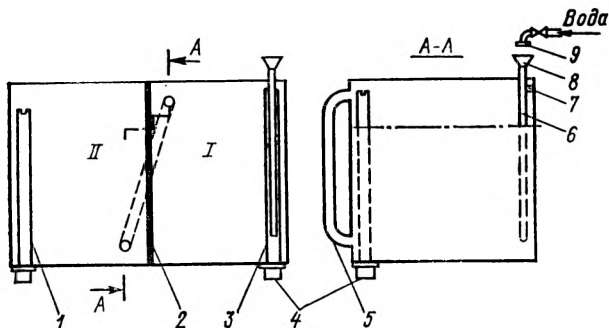


Рис. 14. Каскадная (двухступенчатая) ванна для противоточной промывки:

1 — заналичная и сливная труба II отделения; 2 — перегородка (на разрезе А—А верх ее отрезан); 3 — заналичная труба I отделения; 4 — ниппели заналичных труб; 5 — переливная труба; 6 — водозаливная труба; 7 — кронштейн водозаливной трубы; 8 — воронка водозаливной трубы; 9 — диафрагма-ограничитель расхода на кране водопроводной трубы

скорость перетекания воды из первого отделения во второе и не допускала перегона воды из второго отделения в первое при промывке во втором отделении объемистого предмета (перегон загрязнит воду в первом отделении).

Располагать обе заналичные трубы надо в углах отделений, наиболее удаленных от перегородки. Между трубой и стенкой ванны должен быть зазор 20—30 мм, чтобы можно было взяться за трубу рукой при ее вывинчивании. Вывинчивать ее приходится часто при опорожнении ванны для чистки или извлечения упавших предметов.

Для ограничения максимального расхода воды (во избежание ее излишнего расходования при невнимательном обращении с вентилем) нужно на водопровод-

ной линии перед ванной последовательно установить два вентиля, первый из которых служит для полного перекрытия воды на время перерыва в работе, а второй, — маховичок которого снабжен стопором, — для установления нормального (максимально допустимого) расхода. Второй вентиль можно заменить установленной на выходе из первого вентиля диафрагмой — шайбой с небольшим отверстием, подобранным опытным путем.

Работа в ванне ведется так: вода из водопровода поступает в отделение *I* (см. рис. 14), переливается через трубу 5 в отделение *II* и уходит в канализацию через трубу 1, а детали промываются сначала в отделении *II*, а затем — в отделении *I*.

**Устройства для подачи и слива воды в промывочных ваннах.** Описанная конструкция сливных заналичных труб удобна тем, что одна и та же труба служит и заналичной трубой для слива воды при переполнении ванны выше заданного уровня и сливной пробкой для полного спуска воды из ванны. Сущность ее заключается в том, что цилиндрическая трубная резьба (по ГОСТ 6357—73) на водопроводной трубе и на приваренном к дну ванны ниппеле, в который труба ввернута, при длине резьбы, не меньшей ее наружного диаметра, обеспечивает достаточно полную герметичность стыка этих деталей без каких-либо уплотнителей (пеньки, краски, смазки, прокладок и т. п.). Следует напомнить, что номиналом трубной резьбы является не фактический размер резьбы, нарезанной на наружной поверхности трубы, а условный ее размер, соответствующий внутреннему проходу трубы, ее внутреннему номинальному диаметру.

Точеный стальной ниппель с той же резьбой, что и на трубе, тоже длиной в наружный диаметр резьбы на трубе или несколько более длинный, если он выполнен по удлиненному варианту ниппеля 3, для присоединения канализационной трубы (рис. 15), приваривается снизу к дну ванны под отверстием в дне, диаметр которого для удобства ввертывания трубы делается на 3—6 мм больше наружного диаметра трубы. Вваривать ниппель фланцем сверху дна не следует, так как сварочный шов будет мешать полному сливу воды.

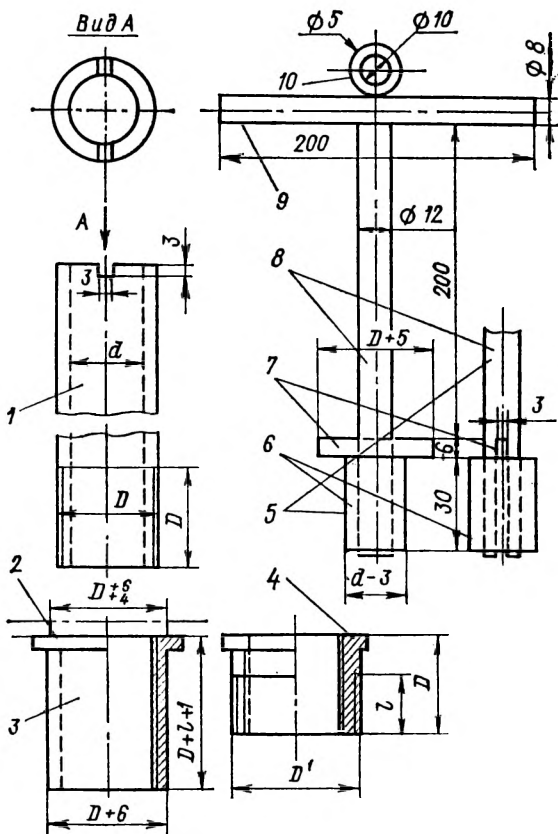


Рис. 15. Заналичная труба, ниппель для ее крепления и ключ для ее заворачивания:  $d$  — номинальный внутренний диаметр заналичной трубы и трубной резьбы на ней;  $D$  — наружный диаметр трубной резьбы (фактический) на заналичной трубе;  $D'$  — номинальный диаметр трубной резьбы на наружной поверхности укороченного ниппеля;  $l$  — длина резьбы для фиттинга на диаметре  $D$ ;

1 — заналичная труба; 2 — дно ванны с отверстием для свободного прохода трубы 1; 3 — ниппель; 4 — ниппель (укороченный вариант); 5 — ключ; 6 — центрирующая втулка ключа; 7 — отвертка; 8 — стержень ключа; 9 — ручка ключа; 10 — колечко для подвеса ключа при его хранении.

Присоединение канализационной трубы к ниппелю при помощи обычного ниппеля и колена вынудит поставить промывную ванну на более высокие подпорки, чем у прочих ванн. Можно несколько уменьшить эту высоту, сделав на укороченном ниппеле 4 наружную резьбу и навернув на нее колено канализационной трубы (рис. 15). В этом случае, чтобы не ослабить резьбой стенку ниппеля, надо выбирать диаметр наружной резьбы руководствуясь табл. 2. Еще большая

**Таблица 2. Рекомендуемые диаметры резьбы на ниппеле сливной трубы при двусторонней резьбе**

Внутренняя резьба		Наружная резьба		Толщина стенки между резь- бами, мм
Номиналь- ный диаметр	Внутренний диаметр	Номиналь- ный диаметр	Внутренний диаметр	
мм		мм		
15	18,6	20	24,1	2,8
20	24,1	25	30,3	3,1
25	30,3	32	39,0	4,4
32	39,0	40	44,8	3,0
40	44,8	50	56,7	6,0
50	56,7	70	72,2	7,8

экономия достигается, если вместо стандартного полукруглого колена сварить колено из труб под прямым углом или приварить боковой патрубок непосредственно к ниппелю (ниже конца сантехнической трубы). Канализационную трубу соединяют с ниппелем обычным способом — на пакле и краске.

Для полного слива воды, например при чистке ванны, сливную сантехническую трубу вывинчивают полностью и вынимают из ниппеля. Это обычно удается сделать рукой, но на всякий случай надо иметь ключ 5—10 (см. рис. 15), состоящий из стержня с перекадиной-рукояткой, «отвертки», вставленной и приваренной в прорези стержня, и направляющей втулки, приваренной к концу стержня ниже отвертки. Вместо втулки можно просто оставить часть стержня ниже отвертки, однако в этом случае отвертку надо сделать длиннее, примерно на разницу диаметров стержня и сантехнической трубы. Направляющая втулка или ниж-

ний конец стержня не очень нужны, но они заметно облегчают попадание отвертки в неглубокие шлицы, прорезанные в верхнем торце заналичной трубы.

Наливную трубу для подачи чистой воды нужно опустить в ванну, чтобы нижний конец не доходил до дна примерно на 100 мм, а верхний выше края ванны кончался воронкой, в которую вода должна стекать из водопроводного крана свободной струей. Опускать трубу водопровода в ванну без разрыва струи над воронкой нельзя из опасения засасывания промывной воды с коррозионно-активными примесями в общий водопровод в случае падения в нем напора (подъем водопроводных труб выше ванны не предохраняет от всасывания воды, воду может всосать за счет сифонного действия водопроводной трубы, заполненной водой без давления).

Диаметры всех труб, по которым вода уходит из ванны самотеком, а не под водопроводным напором (заналичных, наливных после воронки, переливных), должны быть вдвое больше номинального диаметра на водопроводной трубе.

## **10. Монтаж и эксплуатация ванн**

Ванны надо устанавливать не на глаз, а с помощью уровня, иначе может оказаться, что подвесочное приспособление на одном конце ванны погружено слишком глубоко, а на другом — детали неполностью покрыты раствором.

Ставить ванны непосредственно на обычно сырой пол гальванического цеха не следует — стальные днища быстро ржавеют, а деревянные загнивают. Хорошо, конечно, ставить ванны на фарфоровые изоляторы, но это требует приварки к ванне специальных подставок, да и нет особой надобности в такой тщательной изоляции ванн, работающих под напряжением 12 В. Достаточно долговечны и достаточно хорошо изолируют, особенно если между ними и ванной положить полоску листовой резины, простые сосновые бруски с поперечным сечением примерно 100 × 100 или 75 × 150 мм.

**Укрытие зеркала ванны.** Для уменьшения охлаждения ванны, а также разбрызгивания и испарения раствора и для использования связанной с этим возмож-

ности снижения мощности вытяжной вентиляции на горячих ваннах с интенсивным газовыделением (ванны хромирования, щелочного оксидирования, фосфатирования и т. п.) применяют различные укрытия зеркала раствора. Самым старым из таких укрытий является подъемная крышка на ванне, но даже при наличии педального привода для ее подъема и противовеса это не очень удобное решение задачи, особенно, если крышку приходится поднимать часто. Для хромировочных ванн были предложены вещества, образующие на поверхности («зеркале») раствора густую, устойчивую пену (например, хромин), но эта пена часто дает хлопки гремучего газа<sup>1</sup> при искрении контактов, вызывающие выплески электролита.

Хорошие результаты получаются при использовании поплавков из пенопласта (пористого материала с замкнутыми порами, изготовленного на основе различных пластмассовых материалов), плавающих на поверхности электролита, легко отодвигающихся в стороны при завешивании или выемке деталей и самопроизвольно разравнивающихся по поверхности электролита после этого. Пенопластовую пластину режут на бруски размером порядка  $50 \times 100$  или  $25 \times 75$  мм (третий размер равен толщине исходной пластины — обычно от 25 до 50 мм). Пенопласты легко режутся простым ножом. Плотность пенопластов очень мала (есть сорта с плотностью  $80 \text{ кг/м}^3$ ), поры в них замкнутые, поэтому поплавки хорошо плавают. Химическая устойчивость разных пластмасс неодинакова, хлорвиниловый пенопласт устойчив в хромовом электролите в течение примерно 4—6 мес, затем начинает крошиться, полистирольный — держится значительно дольше. Размеры поплавков не очень существенны, но при больших размерах поплавки плохо умещаются между анодами и подвесками, не образуя достаточно сплошного укрытия, при слишком малых размерах они иногда могут застревать в сложных подвесочных приспособлениях и в полостях изделий. Указанные выше пределы размеров поплавков наиболее универсальны и удобны.

---

<sup>1</sup> Гремучий газ — смесь водорода и кислорода при их объемном соотношении 2 : 1, т. е. это смесь тех газов, которые выделяются из хромировочной ванны при хромировании.

Укрытия из пенопластовых поплавков очень существенно снижают выделение брызг электролита и потери теплоты его зеркалом. В хромировочном цехе одного завода, где летом всегда ощущалась нехватка водопроводной воды, приходилось на лето снимать поплавки с ванн, иначе не удавалось при плохой подаче охлаждающей воды удерживать под «шубой» из поплавков температуру электролита в рабочих пределах.

**Ванна улавливания.** Унос раствора (точнее — потерю раствора) можно уменьшить, если после извлечения из ванны и выдержки над ванной для стока сначала промыть изделие в ванне с непроточной водой, именуемой «ванной улавливания», и уже затем в обычной промывочной ванне. Вода из ванны улавливания применяется для долива той основной производственной ванны, после которой она стоит, и таким образом, вынесенный и смытый раствор возвращается в основную ванну. Применять ванны улавливания имеет смысл только после горячих ванн, которые достаточно часто приходится доливать. Вода в ванне улавливания, стоящей после холодной ванны, быстро насытится раствором ванны и перестанет его смывать, а долить свежей водой некуда. Установка ванн улавливания (по ГОСТ 9.047—75) обязательна только в случае, если суточное уменьшение объема раствора в основной ванне составляет не менее 20 % от объема ванны улавливания (кроме ванн покрытия хромом и драгоценными металлами, где она ставится во всех случаях).

Функция ванны улавливания заключается в уменьшении потерь раствора, она не заменяет выдержки деталей над рабочей ванной. Если торопиться вынимать детали из ванны, не дав стечь раствору, то он прольется на пол и на одежду рабочего, прежде чем рабочий донесет их до ванны улавливания.

**Течь в ванне.** Течь в стальной ванне и в футеровке чаще всего бывает в треснувших или непроваренных сварных швах; в деревянных ваннах — на стыках досок при поломках стягивающих их болтов или при попадании встык раствора, его подсыхания и вызванного этим нарушения плотности стыка. Сварную ванну следует заварить, а деревянную — разобрать, зачистить закристаллизовавшуюся на стыках соль и собрать ванну вновь.

Во всех этих случаях нужно предварительно и как можно скорее перелить раствор ванны в какую-нибудь временную емкость. Чтобы при этом потерять как можно меньше раствора, надо сразу же по обнаружении течи бросить в ванну несколько пригоршней обыкновенного песка. Вытекающий в течь раствор затянет в щель песок и забьет ее на срок, вполне достаточный для перелива ванны.

**Напольные решетки.** В помещении, где находятся ванны с водой, растворами химикатов, органическими растворителями и другими жидкостями, пол по всей площади помещения должен быть перекрыт деревянными решетками обязательно на одном уровне. Если решетки лежат не по всей площади пола или их высота разная, то это создает опасность споткнуться при переходе на пол или с одного уровня на другой. Даже устройство плавных наклонных (под углом 10—15°) подъемов с пола на решетку (и уже тем более — лестенок) должно быть сведено к минимуму — только при входе в помещение. На непокрытых решетками участках пола могут скапливаться лужи воды и растворов, в которых можно поскользнуться, получить химическую травму или удар током.

Решетки должны быть изготовлены из строганых досок (реек) шириной 70—100 мм и толщиной 20—30 мм, приколоченных к опорным брускам шириной 70—100 мм и высотой 25—120 мм с зазором между рейками не более 10—20 мм, а между брусками — 500—1000 мм. Каждая рейка должна быть приколочена к каждому брусу не менее чем двумя гвоздями или снизу решеток должны быть приколочены рейки по диагонали между брусками; то или иное мероприятие необходимо, чтобы решетки не перекашивались — перекошенная решетка может быть причиной травмы. Более тонкие рейки или большие расстояния между брусками вызывают частые поломки решеток, а в больших зазорах между рейками могут застрять каблуки, особенно женской обуви, и колеса тележки.

Большая высота решетки делает ее неустойчивой и тяжелой. Для повышения устойчивости при высоте, большей 120 мм, нужно стянуть торцы опорных брусков в их нижней части дополнительными рейками. Длина решетки не должна превышать 2 м, а масса ее — 20 кг,

если при уборке помещения решетку нужно переносить с места на место, и 30 кг, если ее нужно только передвинуть или откинуть и прислонить к ванне не поднимая над полом. Превышение этих размеров и массы сильно затрудняет уборку помещения.

При выборе размеров решеток нужно стараться выбрать по возможности один, принятый за стандарт, размер, кратный размерам всех подлежащих перекрытию проходов. В крайнем случае можно допустить минимальное количество нестандартных размеров для заполнения неподдающихся стандартизации углов и промежутков. Однако следует помнить, что нестандартность решеток затрудняет их правильную укладку после каждой уборки.

Решетки укладывают на пол так, чтобы рейки были расположены вдоль главного направления хождения. Предлагаемые узкие зазоры между рейками не будут мешать проезду тележки с деталями.

При высоком оборудовании либо делают второй пол во всем помещении на нормальном рабочем уровне (800—900 мм ниже верхнего края ванн), например из деревянных решеток, уложенных на каркас из угловой стали, либо, в крайнем случае, делают вдоль оборудования широкую ступень, огороженную со стороны более низкого пола перилами; в большинстве случаев необходимость устройства таких ступеней возникает вдоль автоматических линий, где ходить приходится сравнительно редко.

Напольные решетки должны быть всегда исправны; треснувшую рейку следует немедленно заменять новой.

## **Глава 2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕЛКИХ ДЕТАЛЕЙ**

Мелкие и обычно легкие детали массового производства, которые сложно индивидуально навешивать на подвесочные приспособления, обеспечивая при этом надежный электрический контакт, обрабатывают в специальных типах оборудования. В это оборудование детали загружаются навалом (кучей). Электри-

ческий контакт осуществляется за счет давления верхних слоев деталей на нижние, а равномерность гальванической обработки обеспечивается перемешиванием при вращении сосуда оборудования.

Оборудование для обработки мелких деталей делится на четыре основных типа: 1) наливные колокола, в которых изделия засыпаются в конический или пирамидальный сосуд со сплошными стенками, залитый на некоторую высоту электролитом и вращающийся вокруг своей оси, наклоненной к вертикали под некоторым углом; 2) погружные колокола, сосуд которых имеет такую же форму, как у наливных колоколов и вращается так же в наклонном положении, но стенки его перфорированы и не электролит заливается в колокол, а колокол погружен целиком в ванну с электролитом; 3) барабаны, обычно призматические, реже — цилиндрические, с перфорированными стенками, вращающиеся вокруг своей горизонтальной оси при полном (реже — частичном) погружении в ванну с электролитом; 4) корзины-качалки с перфорированными стенками, поворачивающиеся на неполный оборот (назад и вперед) при полном погружении в ванну с электролитом.

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

Нижние слои кучи деталей сильно экранированы верхними от силовых линий тока, поэтому в каждый данный момент покрытие происходит только на деталях, лежащих в наружных слоях кучи; в связи с этим средняя плотность тока, рассчитанная по поверхности всей загрузки, значительно меньше фактической. Ток от токоподводящих контактов, имеющих ограниченную поверхность, передается дальше от детали к детали через не очень надежные контакты между ними. Падение напряжения на этих плохих контактах весьма значительно, поэтому к такому оборудованию требуется подводить более высокое напряжение, чем к стационарным ваннам.

В результате непрерывного перемешивания (пересыпания) деталей довольно большая часть осевшего на них металла успевает за время процесса покрытия

стереться, химически раствориться (от одной четверти и более для твердых металлов типа никеля, до трети и более для мягких — типа цинка). Это существенно уменьшает скорость наращивания по сравнению с ее скоростью в стационарных ваннах при той же средней плотности тока.

Перфорированные стенки погружных колоколов, барабанов и качалок создают заметное увеличение электрического сопротивления и вызывают потребность в подводе к оборудованию повышенного напряжения.

В наливных колоколах причиной повышенного электрического сопротивления является ограниченная поверхность анода — достаточно большой анод невозможно уместить внутри колокола. Но и в прочих типах оборудования для покрытия мелких деталей аноды недостаточно велики, хотя и расположены вне сосуда.

Объем электролита в наливном колоколе, приходящийся на единицу площади поверхности деталей и на 1 А тока, значительно меньше, чем в стационарной ванне. Это вызывает быстрое нарушение состава электролита, перегрев, а иногда и некоторые другие осложнения.

Итак, оборудование для покрытия мелких деталей требует более высокого напряжения питающего тока и большего времени для нанесения покрытия, чем стационарные ванны, но это окупается возможностью большей загрузки оборудования на единицу площади цеха и, главным образом, несравнимо меньшей трудоемкостью загрузки и выгрузки деталей.

## 11. Колокола

**Угол наклона колокола.** Насыпьте в колокол партию деталей, залейте в него воды, примерно столько, сколько заливают электролита, и пустите его вращаться при вертикальном положении оси. Сквозь прозрачную воду можно легко наблюдать, что детали распределятся по дну колокола ровным слоем, покрывающим все дно, и будут вращаться вместе с колоколом не перемешиваясь и не переворачиваясь. При попытке обрабатывать детали при таком положении колокола металл покрыл бы детали только верхнего ряда и только с одной стороны.

Теперь начните понемногу наклонять колокол, не более чем на  $5^\circ$  за один раз. По мере увеличения угла наклона колокола детали будут сползать к нижнему краю его дна (с некоторым смещением по направлению вращения) и интенсивнее перемешиваться.

Когда угол наклона достигнет примерно  $45^\circ$  от вертикали, станет заметно, что детали собрались в плотную шарообразную кучу, которая хотя и очень интенсивно перемешивается, но ее активная поверхность верхнего слоя, на котором при покрытии осаждается металл, очень мала. 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 поверхность кучки достаточно велика. Заметить такое положение колокола очень легко, потому что при изменении угла наклона максимум на  $10^\circ$  распределение деталей по дну резко меняется в сторону той или другой крайности.

В зависимости от сыпучести деталей оптимальный угол наклона может несколько меняться, но, по-видимому, для большинства деталей он составляет  $35-40^\circ$  от вертикали. На всякий случай следует этот угол проверить описанным способом для двух-трех типов проходящих через цех деталей, резко различающихся по своей сыпучести. Этот несложный эксперимент поможет избежать лишней работы при ошибочном угле наклона колокола, ведущей к снижению производительности цеха и качества продукции.

Все сказанное одинаково относится как к наливным так и к погружным колоколам.

Для того чтобы при работе колокола в указанном наклонном положении раствор не выплескивался через край, колокол изготавливают в форме усеченного конуса или усеченной шести- или восьмигранной пирамиды, дном которых служит большее основание, а загрузочным отверстием — меньшее.

Наиболее распространенными и удобными соотношениями размеров являются следующие: отношение верхнего диаметра к нижнему, равное  $2:3$ , и высота, равная нижнему диаметру. Угол конуса при этом получается  $19^\circ$ . Это относится к колоколам обоих типов — наливному и погружному.

Объем электролита составляет примерно 50—60 %, а объем деталей — 10—15 % от объема колокола (насыпная масса деталей зависит от их конфигурации и плотности их материала). Сила тока и напряжение даны ориентировочно и могут колебаться в зависимости от электролита. В табл. 3 приведены параметры наливных колоколов, близкие по значению к погружным.

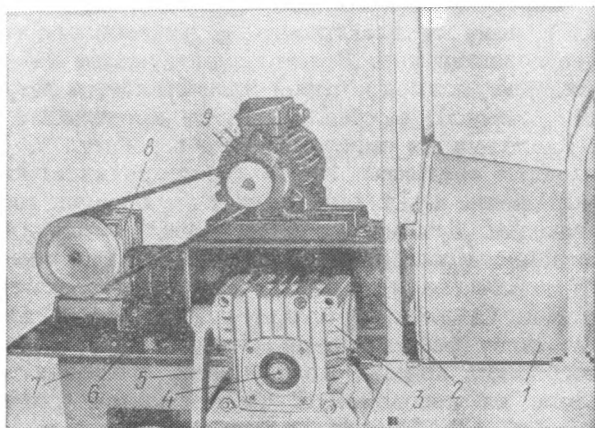
**Таблица 3. Характеристика колоколов**

Параметры	Настольные			Стационарные		
Нижний диаметр, мм	190	250	300	450	500	600
Верхний диаметр, мм	160	175	200	300	350	400
Высота, мм	190	260	300	450	500	600
Объем колокола, л	5	10	15	50	70	120
Объем электролита, л	3	5	8	30—35	35—40	60—70
Объем деталей, л	0,75—1	1—1,5	1,5—2	10	15	15—18
Сила тока, А	3—10	5—15	10—20	20—30	25—40	50—75
Напряжение, В	6—8	6—8	6—8	10—12	10—12	10—12
Частота вращения, об/мин	15	15	15	10—15	10—12	8—10
Мощность мотора, кВт	0,1	0,15	0,15	0,25	0,35	0,5

**Привод колоколов.** Колокол должен иметь возможность совершать два различных движения: наклон от вертикального положения (для загрузки) и до угла в 125—135° от вертикали (для разгрузки), а также вращение вокруг геометрической оси конуса колокола (для перемешивания деталей). 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 зубчатого сектора, установленного на одной из цапф колокола, и червяка с рукояткой или рычага на цапфе с храповиком и собачкой.

Червячно-секторный механизм обычно делают самотормозящимся, но каков бы ни был механизм

наклона, колокол обязательно должен быть в полностью загруженном состоянии уравновешен противовесом и притом с некоторым небольшим избытком, чтобы в случае поломки механизма подъема колокол перешел в вертикальное положение, а не упал на рабочего. К тому же манипулировать с уравновешенным



**Рис. 16. Наливной колокол. Механизм вращения и наклона, в которых использованы серийные редукторы:**

**1 — колокол; 2 — корпус подшипников; 3 — редуктор механизма наклона; 4 — ось качания опорной плиты; 5 — рукоятка механизма наклона; 6 — опорная плита; 7 — станина; 8 — редуктор механизма вращения; 9 — электродвигатель**

колоколом легче. Вращение передается колоколу от мотора через редуктор, шестереночную или цепную передачу, горизонтальный вал, проходящий через пустотелую цапфу, и пару конических шестерен. Направление вращения безразлично.

Поскольку для некоторых заводов изготовление конической пары шестерен и червячно-секторной передачи затруднительно, одним из проектных институтов была разработана конструкция колокола, в которой обе эти трудоемкие пары заменены небольшими серийными редукторами. Один из них, установленный на станине и сцепленный с одной из цапф, служил для его плавного наклона с самоторможением, а второй, устано-

вленный вместе с мотором и дополнительным упорным подшипником на качающейся вместе с колоколом в цапфах опорной плите, служил и для вращения колокола, и в качестве противовеса (рис. 16).

На рис. 16 колокол изображен наклоненным в горизонтальное положение. Защитный кожух механизма снят. Видны корпус дополнительных упорных подшипников, редуктор привода вращения и ременный привод к нему от электромотора, установленного на корпусе подшипников. Все это смонтировано на качающейся доске, наклон которой осуществляется редуктором с рукояткой, закрепленным на кронштейне станины. Конструкция оправдала себя в работе.

**Катодные контакты.** Контакты, подводящие катодное напряжение к деталям, бывают двух типов: донные и плавающие. Донные контакты выполняются обычно в виде немного выступающих над дном металлических шайб в количестве от 4 до 8 шт. с приваренными снизу стержнями. Стержни проходят сквозь дно и проложенные снизу резиновые прокладки и закрепляются в токосборном кольце, по которому скользят установленные на неподвижной части станины угольные щетки (рис. 17). Иногда кольцо соединяют с валом колокола, а отрицательный полюс источника тока подключают к станине, но такая конструкция ведет к потере напряжения на пути через станину и к утечке тока, в особенности, если несколько колоколов питаются от одного источника.

Те контакты, которые в данный момент находятся в верхней части дна, свободной от деталей, но залитой электролитом, интенсивно обрастают металлом. Эти наросты металла с контактов разрастаются по дну и отвлекают на себя очень значительные количества тока и металла. Наросты вредны и тем, что могут портить футеровку, особенно мягкую, типа фэолита, и загрязнять партию годных деталей застрявшими и оставшимися плохо покрытыми деталями. Поэтому донные контакты приходится регулярно, не реже раза в неделю, стравливать кислотой, если металл покрытия в ней растворяется, или сбивать их молотком и зубилом. И та и другая операции очень неприятны, вызывают длительный простой оборудования и катастрофически сказываются на его целости.

Плавающий контакт представляет собой небольшой кусок металла с площадью поверхности, равной 0,2—0,5 дм<sup>2</sup>. Форма его безразлична, но предпочтителен небольшой цилиндр диаметром 10—20 мм, длиной 50—80 мм, закрепленный на конце гибкого (многожильного) изолированного медного провода. Зачищенный от изоляции конец провода вставлен в отверстия

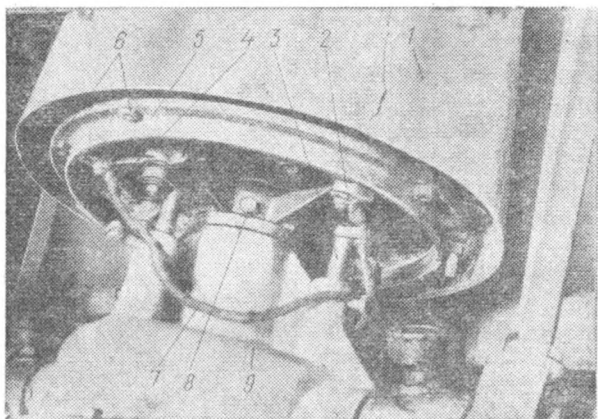


Рис. 17. Щеточный подвод тока к донным контактам наливного колокола (вид на дно колокола снизу):

1 — колокол; 2 — щетка; 3 — стойка щеткодержателя; 4 — щеткодержатель; 5 — токосборное кольцо; 6 — стержни донных контактов; 7 — кабель; 8 — стопорный винт крепления колокола; 9 — картер привода вращения

1 и 2 в торце цилиндра и закреплен в нем металлическим клином 3 (рис. 18). Не следует применять крепление болтом или иными резьбовыми деталями, их потом невозможно отвернуть.

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 отнесет в сторону от деталей и контакт нарушится.

Не пытайтесь добиться, чтобы цилиндр утонул в куче деталей — это не нужно и практически редко достижимо. Если вы заглянете в голтовочный барабан, в котором стальные детали голтовались с сухими дре-

весными опилками, вы увидите, что тяжелые детали лежат сверх легких опилок. Здесь дело не в весе, а в размерах — более мелкие опилки просыпаются в промежутки между деталями.

Плавающий контакт удобен, прост конструктивно и электрически надежен; от него не образуются наросты

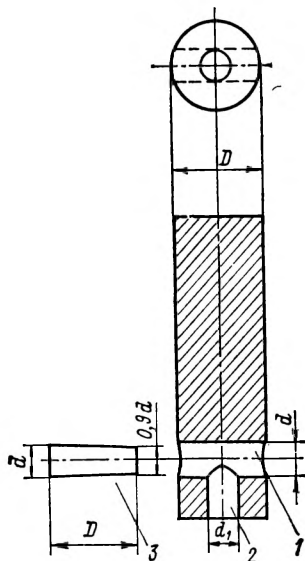


Рис. 18. Опускной контакт, ток к которому подводится гибким многожильным изолированным проводом, оголенный от изоляции конец провода заводится в отверстие диаметра  $d_1$  на торце цилиндра и частично в отверстие диаметра  $d$  по диаметру цилиндра и заклинивается в нем коническим клином

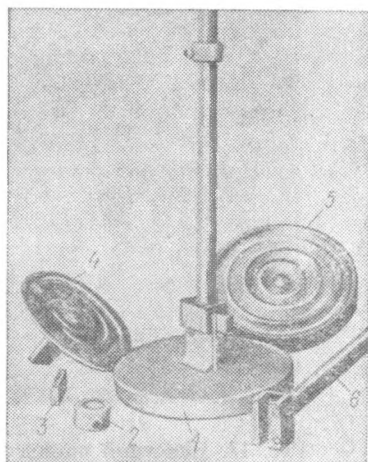


Рис. 19. Литой анод и устройство для его крепления в заливном колоколе:

1 — анод в сборе; 2 — опорное кольцо; 3 — клин; 4 — отработавший анод; 5 — неработавший анод; 6 — штанга с анодным зажимом

по дну; в нем не застревают мелкие детали, когда на нем нарастает столько металла, что создается опасность пло-

хой передачи тока (за счет переходного сопротивления между последовательно нараставшими слоями металла). Контакт несложно снять и заменить новым; а старый положить в сосуд с кислотой и стравить металл или, если контактный цилиндр был сделан из куска анода, — переплавить его или использовать

в анодной корзине. Он дешев (если изготовлен не из драгоценного металла) и прост в изготовлении. Гибкий провод контакта должен быть подключен к отрицательному полюсу источника тока на изолированной клеммной панели, закрепленной в удобном месте в верхней части станины. 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 перетерта. Плавающие контакты и у нас, и за рубежом вытесняют донные.

**Анод для наливного колокола и его крепление.** В наливном колоколе нет места, чтобы разместить такое количество анодов, которое завешивается в стационарной ванне при загрузке деталями с поверхностью, равной поверхности загрузки колокола. Завешенный в колокол кусок обычного плоского анода, как это часто делается, даже если его конец загнут под углом, имеет ничтожную рабочую поверхность, плохо растворяется вследствие большой плотности тока на нем и обуславливает сильное повышение напряжения.

Анод нужно делать с развитой поверхностью. Аноды из металлов, легко поддающихся отливке, следует отливать в виде диска с несколькими кольцевыми концентрическими ребрами на его нижней поверхности. Сечение ребер должно быть клиновидным, с углом не меньше  $3^\circ$ , чтобы отливка легко вынималась из изложницы. Такой же угол должен быть и у всех других поверхностей, не параллельных плоскости разъема изложницы.

От верхней плоскости диска отходит плоский хвостовик, которым анод крепится в анододержателе. Переход от диска к хвостовику должен происходить не под прямым углом, а плавно, в виде фаски вдоль всей ширины хвостовика с обеих его сторон (рис. 19 и 20). При резком переходе от диска, без фаски, хвостовик, особенно у цинковых анодов, часто отламывается. Для колокола, верхний диаметр которого 300 мм, диаметр анода равен 270 мм и активная площадь его поверхности (не считая неработающей верхней стороны диска) равна  $18 \text{ дм}^2$  при высоте ребра 50 мм и  $24,5 \text{ дм}^2$  — при высоте 70 мм, что в 3—4 раза больше проекционной площади поверхности и в 15—20 раз больше площади

рабочей поверхности плоского анода. Размер хвостовика  $70 \times 10 \times 120$  мм. Масса такого анода из цинка 14—17 кг.

На рис. 20 разрез анода показан по диаметру, перпендикулярному к плоскости хвостовика. Наружные зубцы анода можно делать несколько длиннее внутренних.

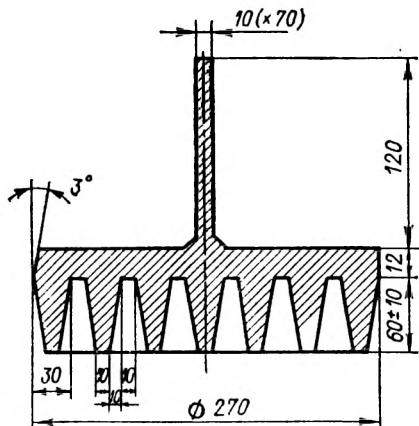


Рис. 20. Примерный профиль литого анода (разрез показан по диаметру, перпендикулярному к плоскости хвостовика)

Изложница (рис. 21) вытачивается из чугунной болванки и состоит из четырех частей: основания, крышки с литником, разрезанной на две половины, стыкующиеся по диаметру, и не изображенного на рисунке замочного кольца, масса которого рассчитана на гидростатическое давление металла при заливке литника доверху. Замочное кольцо не только не

дает половинкам крышки разойтись,

но и не дает им всплыть под давлением залитого металла. По линии разъема половин крышки (но не на хвостовике) сделано 4—6 небольших отверстий диаметром 2 мм, служащих для выхода воздуха при заливке. Линия разъема должна совпадать с центрами отверстий. В случае некоторой ошибки при изготовлении крышки допустимо подпилить края отверстия вдоль его оси, его цилиндричность не существенна, но застывший в выпоре при отливке металл не должен мешать раздвинуть половины крышки в горизонтальном направлении, что может произойти, если разъем не совпадает с параллельным ему диаметром отверстия.

При отливке оловянных анодов следует иметь в виду, что олово в интервале температур от  $160^\circ\text{C}$  до температуры плавления ( $231,91^\circ\text{C}$ ) кристаллизуется в хрупкой  $\gamma$ -форме и легко разрушается при толчке. Поэтому

при отливке оловянных анодов нельзя раскрывать изложницу до тех пор, пока она не остынет до температуры ниже 150 °С.

В тех случаях, когда анод из-за тугоплавкости металла (например, никеля) затруднительно отлить, можно изготовить анод с развитой поверхностью с помощью сварки. В частности, никель и медь легко сва-

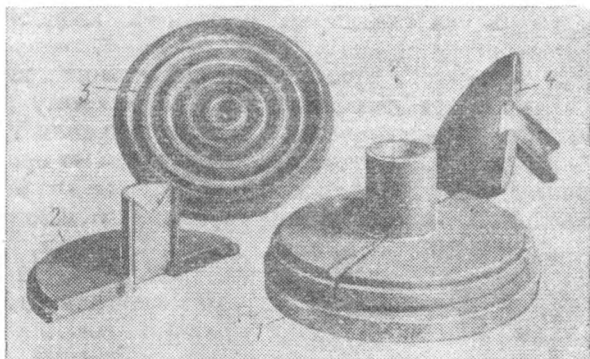


Рис. 21. Изложница для отливки анодов для заливного колокола:

1 — изложница в сборе; 2 — половина крышки; 3 — основание (вид снизу); 4 — половина крышки

риваются автогенной сваркой с присадочным прутком из узкой полоски того же металла, но с обязательным условием — после сварки аноды должны быть 2—4 ч прогреты в термической печи при 800—900 °С и охлаждены вместе с печью (в случае никеля) или в холодной воде (в случае меди), иначе сварочный шов будет быстро корродирован электролитом. К основной (горизонтальной) пластине снизу приваривают несколько ребер из пластин под прямым углом к основной пластине с зазором между ребрами 10—20 мм.

Сварку делают односторонним швом с наружной стороны каждого очередного ребра, а сверху основной пластины приваривают двусторонним швом хвостовик из того же металла по типу хвостовика литого анода (фаски не нужны, их заменяет сварочный шов).

Анододержатель состоит из штанги или трубы, на нижнем конце которой приварен анодный зажим в виде бруска с П-образным пазом, в который вставляется хвостовик анода и закрепляется заводимым в паз сбоку хвостовика плоским клином (угол клина в сечении, параллельном диску анода, равен  $2^\circ$ ). П-образный паз не симметричен относительно вертикальной оси бруска, а смещен вбок, чтобы хвостовик анода пришелся на оси симметрии штанги и анодного зажима.

Клин толщиной, примерно равной толщине хвостовика, при легком ударе молотком по толстому концу механически и электрически надежно закрепляет анод и так же легко освобождает его при ударе по противоположному концу. Этот зажим, в отличие от многих испытанных болтовых конструкций, не подвержен заеданию при коррозии. Для удобства сборки, чтобы клин не выпадал пока его не затянули, к низу П-образного выреза со стороны клина приделана на сварке или на винтах упорная планка (см. рис. 19).

Так как анододержатель с анодом имеет массу около 20 кг, то чтобы не держать его на весу, пока будет затянут зажим, крепящий штангу на станине (зажим должен быть изолирован от станины), и для уменьшения нагрузки на него на штангу надето опорное кольцо, заранее закрепленное на нужной высоте. Кольцо ложится на верхнюю плоскость зажима штанги и принимает на себя вес анододержателя. В отличие от изображенного на рис. 19 кольца старого образца, крепящегося стопорным винтом, в более удобном новом образце оно крепится на штанге штифтом, пропущенным через отверстие в хомутике и в одно из трех-четырех отверстий в штанге. Отверстий требуется немного, из расчета изменения расстояния от низа анода до деталей от 100 до 200 мм.

Это расстояние незначительно влияет на электрическое сопротивление, но если оно меньше 100 мм, то часто происходят короткие замыкания деталей с анодом. Зажим для анодной штанги желательно делать раскрывающимся (по образующей), чтобы штангу можно было вставить в него не снимая анод и упорное кольцо.

## 12. Барабаны для покрытия

В табл. 4 приведены характеристики барабанов и их загрузки. Данные для барабанов частичного погружения и перекидных (кроме размеров самих ванн) могут быть использованы и для барабанов полного погружения.

Таблица 4. Характеристика барабанов для покрытия

Параметры	Барабан частичного погружения (на 1/3 диаметра)		Перекидной барабан	Барабан полного погружения	
				Двухмерный	Трехмерный
Ванна:					
длина, мм	550	550	900	970	1300
ширина, мм	600	600	800	550	620
глубина, мм	700	700	800	800	800
Объем электролита, л	150	150	400	250	550
Барабан:					
диаметр, мм	230	300	500	270	360
длина, мм	450	450	600	730	1000
форма	Шестигранный	Круглый	—	Шестигранный	
Объем деталей в загрузке, л	5	9	25	20	50
Масса загрузки деталей, кг	12	20	40	30	60
Частота вращения, об/мин	10—15	10—15	8—10	8—15	5—10
Мощность мотора, кВт	0,15	0,15	0,5	0,15	0,25
Сила тока, А	30—40	50—75	100—150	80—200	100—250
Напряжение, В	6—10	10—12	10—12	8—12	8—12

### Устройства для загрузки и вращения барабана.

Наиболее удобен переносной барабан, цапфы которого вращаются в отверстиях вертикальных стоек П-образной рамы, имеющей на верхней перекладине кольца (рымы), за которые его берет своими крюками тельфер при подъеме, опускании и переносе. Рама имеет опоры, которыми она при опускании барабана в ванну ло-

жится в ловители, установленные на бортах ванны, или прямо на две соседние катодные штанги (анодная штанга между ними снимается). Опоры и ловители выполнены из металла и служат для подвода к барабану электрического тока. Барабан после окончания процесса покрытия поднимается из ванны покрытия, переносится в промывочную ванну, затем разгружается на сито и загружается следующей партией деталей.

Вращение барабан получает от мотора и редуктора, расположенных либо вне ванны, либо на раме. В первом случае при опускании барабана в ловители шестерня его привода, вынесенная за пределы рамы, ложится на установленную снаружи ванны шестерню, верхние зубцы которой несколько выступают над краем ванны. Шестерня вращается с помощью редуктора. Когда мотор и редуктор устанавливают непосредственно на раме, барабан может быть опущен в любую стационарную ванну (конечно, если она одновременно не занята подвесочными приспособлениями, требующими более низкого напряжения). Если мотор на барабане постоянного тока рассчитан на 12 В, то он может питаться от шин ванны через опоры рамы. В качестве мотора можно применить небольшой автомобильный генератор. Никаких переделок он не потребует, следует только учесть, что амперметр на щите ванны покажет сумму токов электролиза и мотора. Мотор переменного тока нужно питать по гибкому проводу от штепсельной розетки, установленной в удобном месте вблизи ванны, желательно также и около промывочной ванны для вращения барабана при промывке.

В обоих случаях сцепная шестерня или мотор с редуктором находятся на раме выше барабана, следовательно, нужна еще какая-то передача от них непосредственно к барабану, которая может служить и для дальнейшего снижения частоты вращения в дополнение к редуктору. Еще совсем недавно за рубежом для привода барабанов очень широко применялись клиновидные ремни, одетые на пластмассовые клиновидные шкивы, прикрепленные к торцовым доньям барабана<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Следует предостеречь от применения обычных плоских ремней — кожаных или резиновых. От постоянного смачивания электролитом они скоро начинают проскальзывать и нуждаются в перешивке.

Такой привод отличается надежностью и долговечностью в работе (рис. 22). Однако в последнее время начали возвращаться к старой системе передачи от сцепной шестерни или редуктора к шестерне на торце

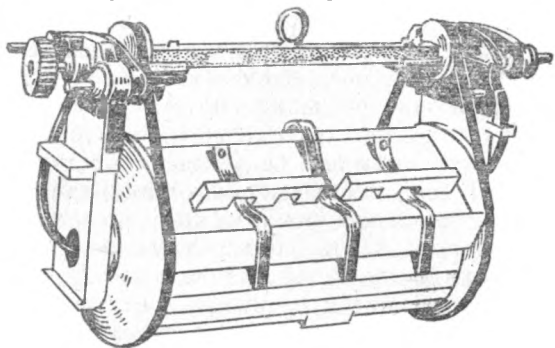


Рис. 22. Барабан с приводом клиновидным ремнем

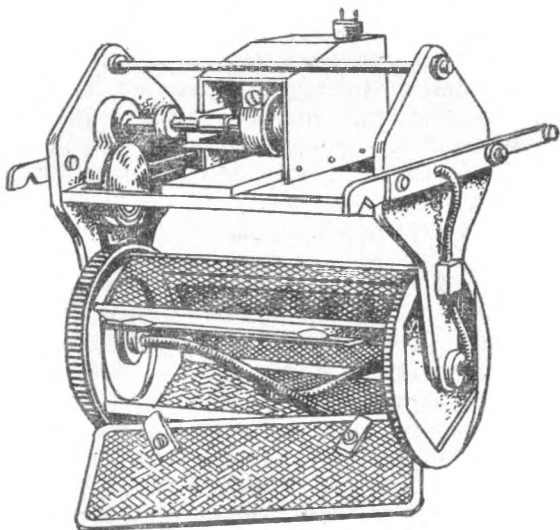


Рис. 23. Барабан с шестереночным приводом

барабана через посредство нескольких, установленных на стойке рамы, передаточных шестерен. Все шестерни пластмассовые. Вызвано это, вероятно, затруднениями при надевании клиновидного ремня на барабан без снятия его с подшипников (рис. 23).

**Катодные контакты барабанов.** Применявшиеся ранее катодные контакты в виде медных полос, расположенных вдоль углов между гранями барабана, или в виде дисков на торцовых доньях, обладают теми же недостатками, что и донные контакты колоколов (см. с. 60). Торцовые диски, особенно в длинных барабанах, кроме того, создают очень большое падение напряжения в слое деталей. Плавающие контакты, свисающие на проволоках или цепочках с неподвижной оси, на которой вращается барабан, не удобны конструктивно и непрочны. В современных конструкциях плавающие контакты выполняются точно так же, как и в колоколах. Гибкие провода, подводящие катодный ток к контактными цилиндрам, пропускают через полые цапфы барабана вращающиеся в сквозных отверстиях вертикальных пластмассовых (винипластовых, текстолитовых и т. п.) брусков рамы барабана. Провод должен входить в полость цапфы с очень большим зазором, чтобы цапфа при своем вращении не увлекала за собой провод и не закручивала его. В противном случае возможны обрывы провода. У места входа провода в наружное отверстие цапфы провод должен лежать свободной петлей.

Такая конструкция имеет одно неудобство. При нормальной загрузке барабана (на одну треть его диаметра по высоте) барабан работает вполне удовлетворительно, но если почему-либо барабан окажется загруженным до оси или выше, то мелкие детали могут высыпаться из барабана через большой (не менее 10 мм) зазор между проводом и внутренним, со стороны барабана, отверстием цапфы.

Гораздо удобнее более современная конструкция, в которой барабан своими отверстиями в торцовых пластмассовых стенках вращается на пустотелых полуосях, неподвижно закрепленных в боковых вертикальных брусках рамы. 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 самая маленькая деталь. Опасность закручивания провода в этой конструкции исключена, поэтому не нужна и петля при входе его в наружное отверстие полуоси.

Полуось может быть выполнена легко вынимающейся из бруска рамы, но с каким-либо стопорным устройством, проще всего, с наружным фланцем и двумя крепящими его болтами.

В обеих конструкциях полуоси или цапфы удобно делать из винипластовой трубы с наружным диаметром 25—50 мм и толщиной стенки 3—5 мм (проверить расчетом на прочность). О трении в таком упрощенном «подшипнике» можно не беспокоиться.

Провода с контактными цилиндрами заводят по одному с каждого торца барабана. Расстояние между контактными цилиндрами внутри барабана следует брать от одной трети до половины длины барабана для более равномерного распределения тока по массе деталей.

Независимо от конструкции цапф барабана и от положения плавающих контактов (на поверхности детали или под ней) провода, подводимые к контактам, должны быть гибкими.

**Аноды для барабанов.** В ванны с барабанами обычно навешивают такие же аноды, как и в стационарные ванны. Навешивают их с обеих сторон барабана в плоскости, параллельной оси барабана. Нижний конец анода вряд ли стоит опускать в ванну глубже чем на 100 мм ниже нижней образующей барабана. При полностью погруженном барабане участок анода от уровня верхней образующей барабана до зеркала электролита, равный 100 мм, тоже можно считать работающим. Следовательно, рабочая длина анодов будет на 2 дм больше диаметра барабана, а их максимальная рабочая поверхность, которую можно повесить с обеих сторон барабана, не превысит удвоенной длины барабана, умноженной на рабочую длину анода.

Для того чтобы плотность тока на анодах составляла 0,5 А/дм<sup>2</sup>, как это принято в большинстве стационарных ванн, площадь их поверхности (дм<sup>2</sup>) должна быть численно вдвое больше силы тока (А), допустимой для барабана данной величины. Однако сопоставление размеров и силы тока, приведенных в табл. 4 для разных барабанов, показывает, что места хватает только для 1/3—1/4 нужной площади анодов и, следовательно, плотность тока на них будет в 3—4 раза выше, чем в стационарной ванне. Например, для перекидного

барабана диаметром 5 дм и длиной 6 дм площадь поверхности анодов, висящих с обеих его сторон, будет  $84 \text{ дм}^2$  и при токе 150 А анодная плотность тока будет  $150 / 84 = 1,8 \text{ А/дм}^2$ , т. е. в 3,6 раза больше, чем в стационарной ванне. Такая высокая анодная плотность тока вызывает потребность в повышенном напряжении на ванне, а следовательно, возможность пассивирования анодов.

До некоторой степени может помочь применение активированных (депассивированных) анодов, допускающих использование повышенной плотности тока, и анодов с развитой поверхностью, например цилиндрических, или анодных корзин (подробнее см. в гл. 3). Аноды должны быть завешены вплотную друг к другу и регулярно заменяться по мере износа.

**Перфорация стенок.** Стенки погружных колоколов, барабанов и корзин-качалок делаются из листовых пластмассовых материалов и, естественно, должны быть перфорированы для циркуляции электролита и прохождения тока. Чем больше живое сечение перфорации (процентное отношение площади поверхности отверстий к общей площади стенки), тем меньше она мешает движению раствора и тока. Однако, делать большие отверстия невыгодно, ибо в таком оборудовании нельзя будет обрабатывать не только детали, меньшие по своим размерам отверстий, но и такие, у которых есть элементы профиля, могущие выступить из отверстия. На кончике этого выступа плотность тока будет настолько велика, что на нем образуется шишковидный нарост металла, который зачастую даже не удастся вытащить из отверстия и значительная часть перфорации окажется закупоренной. С другой стороны, очень маленькие отверстия оказывают большое сопротивление прохождению раствора и тока, а если их делать много, то работа получается трудоемкой 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 5,5—14 мм).

Отверстия в перфорированной стенке почти всегда делают в шахматном порядке, так как теоретически при этом на единице площади стенки умещается большее количество отверстий и живое сечение перфорации

будет больше. Действительно, при одинаковых диаметрах отверстий и одинаковых межцентровых расстояниях живое сечение стенки при шахматном расположении отверстий относится к ее живому сечению при рядном расположении как 1,155 : 1,000, т. е. на 15,5 % больше.

Однако, если учесть очень малую величину конструктивно применимого живого сечения (ограниченную требованием прочности стенки), равную для приведенных выше размеров перфорации — от 23,4 до 25,7 % при рядном расположении и от 27,0 % до 29,6 % — при шахматном, то очевидно, что практически этой разницей можно пренебречь, если электропроводность электролита достаточно высока.

**Расчет живого сечения.** Выделяем мысленно из стенки с рядным расположением отверстий квадрат, соединяющий центры четырех соседних отверстий. Площадь этого квадрата будет  $c^2$ . В него войдут четыре сектора по  $90^\circ$ , вырезанные сторонами квадрата из четырех отверстий на его углах. 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 процентах.

Точно так же представим себе равносторонний треугольник, соединяющий при шахматном расположении центры трех соседних отверстий, лежащие в его вершинах. Площадь этого треугольника будет  $\frac{c}{2} \cdot c \sqrt{\frac{3}{4}}$  (где  $\sqrt{\frac{3}{4}}$  есть косинус угла в  $30^\circ$ ). Стороны треугольника вырежут в каждом из трех отверстий сектор в  $60^\circ$ , а все три сектора в сумме составят половину площади отверстия. Отношение этой половины площади  $\pi d^2/8$  к площади треугольника, выраженное в процентах, будет живым сечением стенки при шахматном расположении отверстий.

Для покрытия мелких деталей изредка применяются корзины - качалки, не получившие у нас широкого распространения. Они делались в виде полуцилиндра или половины многогранной призмы, подвешенной на горизонтальном валу, на котором корзина могла качаться взад и вперед на угол в  $60^\circ$ . Основным недостатком этих корзин, ограничившим их применение, была их неудачная форма, не позволявшая более интенсивно качать корзину из опасения высыпания деталей через край. Перемешивание в такой корзине было плохим.

В семидесятые 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 одной модели входящее внутрь корзины в форме равностороннего треугольника, а в другой — наоборот, выступающее из дна наружу и придающее поперечному сечению корзины форму сердца. Ребро предназначено для улучшения перемешивания деталей. Однако

основное достоинство новой модели заключается в том, что окружность корзины охватывает не  $180^\circ$ , как в старой модели, а  $315^\circ$ , что позволяет увеличить амплитуду качания в три раза ( $180^\circ$  вместо  $60^\circ$ ) без опасения просыпать детали. Это, разумеется, сильно улучшает перемешивание (рис. 24).

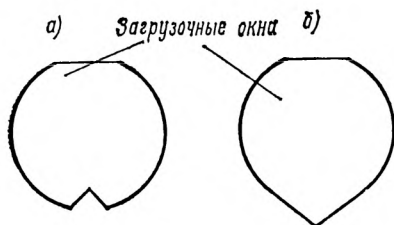


Рис. 24. Современные модели корзин-качалок (поперечные разрезы): а — с входящим перемешивающим ребром; б — сердцевидная

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

**Материалы для изготовления колоколов, барабанов и качалок.** Погружные колокола, барабаны и качалки делаются без металлического каркаса и потому должны быть выполнены из достаточно жесткой пластмассы. Наиболее подходящим материалом для их изготовления являются винипласт и оргстекло (плексиглас). 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.

Жесткую футеровку сварить внутри конуса колокола трудно, а ввести готовую футеровку в колокол через его верхнее, меньшее, отверстие вообще невозможно. Нужно приварить к металлическому конусу

фланец, вставить в конус готовую футеровку и прикрепить болтами фланец конуса к металлическому дну колокола. Это несложная и удобная конструкция.

**Области применения колоколов, барабанов и качалок.** В барабанах за счет большого давления под более толстым слоем деталей и более интенсивного перемешивания больше и опасность повреждения тонких ребер, винтовой резьбы и других легко повреждаемых мест профиля детали, быстрее также происходит истирание осаждаемого металла. Такие детали нужно обрабатывать в колоколах. Плохо перемешивающиеся плоские детали, например шайбы, лучше покрывать в барабанах. Наливные колокола, не имеющие перфорации, пригодны для покрытия самых мелких деталей, тогда как в погружных колоколах, барабанах и качалках мелкие детали потребуют трудновыполнимой мелкоячеистой перфорации, затрудняющей к тому же проток электролита. Очень большие затруднения создают в перфорированном оборудовании детали типа болтов, винтов, гвоздей имеющих головку и более тонкий стержень. Качалки по характеру работы занимают промежуточное положение между барабанами и колоколами.

**Расчет режима работы колоколов, барабанов и качалок.** В отличие от стационарных ванн величина загрузки деталями и продолжительность покрытия в колоколах, барабанах и качалках рассчитываются не по фактической плотности тока, которую в оборудовании для обработки мелких деталей определить затруднительно, а по количеству электричества (кКл), необходимого для покрытия поверхности всех деталей загрузки слоем металла требуемой толщины:

$$H = \frac{3,6MS\delta(1 + 0,01k)}{md}, \quad (19)$$

где  $M$  — масса загрузки, кг;  $S$  — площадь поверхности одной детали,  $\text{дм}^2$ ;  $\delta$  — заданная толщина покрытия,  $\text{мкм}$ ;  $k$  — потери на истирание в % от  $\delta$  ( $k = 20 \div 40$  % — для твердых металлов,  $k = 40 \div 60$  % — для мягких);  $m$  — масса одной детали, кг;  $d$  — толщина покрытия данным металлом, осаждаемая количеством электричества 3,6 кКл на 1  $\text{дм}^2$  площади,  $\text{мкм}$ .

Продолжительность покрытия загрузки будет (ч):

$$\tau = \frac{H}{I} = \frac{3,6MS\delta(1 + 0,01k)}{m d I}, \quad (20)$$

где  $I$  — сила тока на загрузку, А.

Задача, отнюдь не такая сложная, как кажется на первый взгляд, сводится к такому подбору величины  $M$  и, в крайнем слу-

чае, величины  $I$ , чтобы при  $M$ , выраженной в целом числе килограммов, и  $I$ , выражающемся в округленном числе ампер, время  $t$  получилось бы в часах или в часах с половиной (устанавливать продолжительность покрытия с точностью до меньших долей часа в цеховых условиях неудобно). Силу тока надо выбрать возможно более близкой к верхнему пределу, допустимому для данного размера оборудования, и отклоняться только в минимальном количестве технологически обоснованных случаев (уменьшать силу тока невыгодно, это снижает коэффициент использования оборудования).

Детали желательно комплектовать в небольшое количество групп (не более трех-четырех по времени покрытия и по величине загрузки и не более двух по силе тока). Это облегчит гальванику переход с покрытия одного наименования деталей на другое при разнообразном их ассортименте. Если какая-нибудь деталь не укладывается достаточно точно в группу, соответствующую заданной толщине покрытия, то ее надо отнести к группе, большей по времени или меньшей по загрузке, не смущаясь тем, что при этом толщина покрытия окажется несколько больше заданной — разница обычно вполне уложится в разрешенный допуск (ГОСТ 9.073—77).

Таблица 5. Толщина покрытий, осаждаемых за 1 ч на поверхности в 1 дм<sup>2</sup> при 100 %-ном выходе по току

Металл	Тип электролита	Толщина покрытия (мкм), осаждаемая количеством электричества, равным		
		1 кКл	3,6 кКл	96,5 кКл
Железо	Кислый	3,6	13,0	348
Золото	Цианистый	10,6	38,0	1019
Кадмий	Цианистый и кислый	6,7	24,0	643
Латунь 60—40	Цианистый	6,7	24,0	643
Никель	Кислый	3,3	12,0	322
Медь	»	3,6	13,0	348
»	Цианистый	7,4	26,6	713
Олово	Кислый	8,3	30,0	804
»	Щелочной	4,2	15,0	402
Свинец	Кислый	9,4	34,0	911
Серебро	Цианистый	10,6	38,0	1019
Цинк	Цианистый и кислый	4,7	17,0	456
Хром	Хромовый ангидрид	1,3	4,6	123

Предлагаемая стандартизация режимов с компоновкой изделий в небольшое количество групп вызвана не технологическими потребностями, а организационными. Она помогает избежать путаницы и нарушений технологии. Правильность расчета, в частности выбора коэффициента  $k$ , желательно проверить практически замером полученной толщины покрытия на 2—3 типах изделий при максимальном и минимальном времени  $\tau$ .

Детали для загрузки надо обязательно отмерять взвешиванием, так как замеры по объему или на глаз дают большие ошибки в толщине покрытия. Загрузка корзин-качалок по массе деталей и по току близка к загрузке барабанов, приведенной в табл. 4. Величина  $d$  для некоторых металлов дана в табл. 5.

### **Глава 3. АНОДЫ**

Аноды служат, в первую очередь, для подвода тока в электролит и для равномерного распределения его по деталям. Менее важно второе назначение растворимых анодов — возмещать убыль металла в электролите взамен выделенного при покрытии изделий. Третья функция анодов — это выполнение некоторых окислительных процессов, нужных для поддержания постоянства состава электролита. И, наконец, приходится считаться с их побочным действием — загрязнением ванны шламом и посторонними примесями.

Прошедшие через электролит 96,5 кКл (26,8 А·ч) электрического тока растворяют или выделяют на аноде и на катоде по 1 г-экв вещества. Однако почти никогда этот грамм-эквивалент не состоит только из металла покрытия. И на аноде, и на катоде идут еще и другие процессы растворения и выделения разных веществ, сумма эквивалентных количеств которых вместе с металлом покрытия составляет тот грамм-эквивалент, который 96,5 кКл (26,8 А·ч) может растворить или выделить на аноде или на катоде. Та доля количества электричества, которая пошла на растворение металла покрытия на аноде или на его осаждение на катоде, называется анодным или соответственно катодным выходом данного металла по току. Этот выход по току никогда не может быть больше 100 %. Встречающиеся иногда указания о выходе по току больше 100 % объясняются сознательно допущенной и общепринятой

«ошибкой», когда для упрощения не учитывают одновременное выделение металла из ионов разной валентности или его химическое растворение без участия тока <sup>1</sup>.

#### 14. Роль анодов в гальваническом процессе

**Выход по току и постоянство состава электролита.** Анодный и катодный выходы по току зависят от свойств металла покрытия, состава электролита и режима процесса. Эти факторы, в частности некоторые компоненты электролита, и плотность тока могут по-разному влиять на выходы по току на аноде и катоде. Практически они почти никогда не бывают одинаковы, анодный выход по току часто бывает меньше катодного. В этом случае электролит будет по мере работы обедняться металлом покрытия. Это относительное обеднение металлом следует отличать от общего снижения концентрации электролита вследствие уноса при выгрузке деталей. Такой унос вызывает снижение концентраций компонентов в их первоначальном (рецептурном) соотношении. Для поддержания постоянства относительных концентраций металла покрытия и остальных компонентов следует создать условия, при которых разница между анодным и катодным выходами по току была бы возможно меньшей.

**Анодные режимы.** Анодный выход по току с увеличением анодной плотности тока снижается за счет пассивирования анода, затрудняющего его растворение. Поэтому простейшим и самым распространенным способом улучшения растворимости анодов будет снижение плотности анодного тока путем завески в ванну большей площади анодов, чем площадь деталей. Для ориентировки в табл. 6 приведены для некоторых электролитов предельные значения анодной плотности  $i_a$  тока, при которой наступает полное пассивирование анода, и рекомендуемое отношение площади анодной поверхности к катодной ( $S_a$   $S_k$ ).

---

<sup>1</sup> Как правило, в этих случаях специально объясняется, за счет чего расчет дал величину свыше 100 %.

**Таблица 6. Анодные режимы для некоторых электролитов**

Ванна	Аноды	$i_{\text{анод}}, \text{А/дм}^2$	$S_a : S_K$
Кадмиевая цианистая	—	2—3	—
Медная цианистая	—	1,5—4	1 : 1
Медная сернокислая без перемешивания	Катаные и литые	5	1 1—2 : 1
То же с перемешиванием	То же	17	1 1
Медная сернокислая	Фосфористая медь	—	2 : 1
Медная борфтористоводородная без перемешивания	Катаные и литые	40	2 : 1—3 : 1
То же с перемешиванием	То же	55	—
Медная пиррофосфорнокислая	—	4 * 0,3 **	0,7 : 1— 1,5 1
Никелевая сернокислая без хлоридов	Катаные неактивированные	15	—
То же с хлоридами	То же	35	2 : 1
Никелевая сернокислая с хлоридами	Активированные серой	50	—
Никелевая сульфатная	То же	60	—
То же	Анодная корзина	—	1,3 : 1 ***
Цинковая цианистая	—	—	0,8 : 1— 1,3 : 1
Цинковая цинкатная	—	—	1 1—2 : 1
Цинковая аммиакатная	—	—	2 : 1

\* При pH 7,4.

\*\* При pH 10,5.

\*\*\* Расчет произведен на проекционную поверхность корзины.

**Влияние анодов на равномерность распределения тока.** Расстояние между анодом и деталью должно быть возможно большим, особенно для деталей сложного профиля, чтобы относительные расстояния от анода до ближних и дальних точек детали меньше различались между собой. Нижний конец анода не должен опускаться существенно ниже деталей, иначе нижняя часть детали, получая ток от относительно

большей поверхности анода, чем середина детали, может «подгореть», что особенно часто случается в ваннах без перемешивания, на дне которых температура раствора заметно ниже, чем наверху. В технической литературе встречаются даже рекомендации закрывать непроводящими экранами верхнюю часть анода от уровня верха детали до зеркала электролита, хотя здесь эффект от избытка площади анода менее опасен для детали.

Выступающие углы, острия и другие выступы деталей, если их нельзя расположить в плоскости катодной штанги, должны быть направлены в сторону промежутка между соседними анодами. Промежуток между анодами не должен превышать половины расстояния между анодами и деталями.

**Материалы для нерастворимых анодов.** В цианистых и щелочных ваннах хорошо работают аноды из малоуглеродистой или из коррозионно-стойкой стали, предпочтительно хромоникелевой. В кислых ваннах в большинстве случаев применяют аноды из свинца или его сплава с 4—8 % сурьмы, или с 6—10 % олова, или 4,5 % сурьмы и 0,2 % серебра (последние два преимущественно для хромировочных ванн). Значительно реже применяются графит, титан и платинированный титан, обладающие при хорошей химической стойкости и некоторыми отрицательными свойствами: графит механически непрочен; титан иногда может пассивироваться до такого высокого потенциала, что на нем начинает разряжаться хлор из присутствующих в электролите хлоридов.

**Активирующие добавки в электролитах и в анодах.** Во многих ваннах применяются активаторы растворения анодов, добавляемые в электролит для повышения анодного выхода по току. В медной и других цианистых ваннах такими добавками служат анионы солей винной, угольной или роданистой кислот. В современных концентрированных электролитах количество углекислого натрия часто превышает 100 г/л. В сернокислую и сульфатную никелевые ванны прибавляют хлористые соли (катион роли не играет). Указываемые в рецептуре электролита количества активирующих добавок можно в процессе практической работы уточнить, добиваясь возможного постоянства кислотности элек-

тролита рН или концентрации металла покрытия в растворе (по данным химического анализа).

Добиваться полного постоянства не нужно, да это и затруднительно, ибо оно зависит от еще многих других факторов, лишь бы рН удерживалось в указанных в рецептуре пределах. Для активирования никелевых анодов в большинстве случаев требуется не более 15 г/л NaCl.

В современных ваннах, работающих при больших плотностях тока, начинают все чаще применять аноды с внесенными в них при отливке активирующими добавками. В медных анодах такой добавкой служит фосфор (0,02—0,04 %, иногда даже 0,20 %). Добавка в оловянные аноды алюминия (1 %) позволяет в щелочной оловянной ванне увеличить плотность предельного неpassивирующего тока до 9 А/дм<sup>2</sup> вместо 4 А/дм<sup>2</sup> для анодов без добавки. Для никелевых ванн применяют аноды с добавкой кислорода (0,1—0,2 %, что соответствует 0,46—0,91 NiO). В качестве добавки может служить также углерод (0,08—0,30 %) при наличии в аноде кислорода не более 0,01 % или серы (0,002—0,075 %, по другим данным — 0,02—0,04 %).

Во всех трех типах активированных никелевых анодов концентрация добавок не должна превышать указанные пределы, так как образующиеся окись никеля, графит или сернистый никель скапливаются на границах зерен, ослабляют сцепление между ними, что вызывает их выпадение. При малых концентрациях добавок можно улучшить равномерность их распределения прогревом прокатанных анодов при 950—1250 °С.

В цинковых анодах для кислых ванн применяют противоположно действующую добавку, замедляющую (ингибирующую) бесполезное химическое растворение анодов, — добавку 0,5—1,0 % алюминия. Действие алюминия значительно усиливается добавкой 0,03 % ртути. Но изделия, оцинкованные в присутствии ртути, недопустимо применять в соседстве с алюминиевыми (и латунными) деталями, так как попадающая в покрытие ртуть, амальгамируя алюминий детали, лишает его защитной окисной пленки и алюминиевая вещь на глазах превращается в рыхлую окись.

В электролитах для никелирования, не содержащих хлор-иона, никелевый неактивированный анод пассивируется при потенциале не более 0,2 В, тогда анод, содержащий серу, начинает пассивироваться только при 0,8 В. Анод с 0,02—0,03 % серы в электролите, не содержащем хлориона, может работать при анодной плотности тока до 15 А/дм<sup>2</sup>, в электролите типа Уаттса—с 50—60 г/л хлористого никеля, при температуре 40—60 °С — до 50 А/дм<sup>2</sup>.

Анод из электролитического никеля без активирующих добавок дает чисто металлический шлам и в малых количествах, составляющих 0,01—0,05 % от массы израсходованного анода, тогда как анод, активированный серой, дает нерастворимый и нетокопроводный шлам в количестве свыше 0,18 % от массы анода, значительно более мелкий, легче проникающий через чехол, легче вымывающийся через оказавшийся ниже уровня электролита край чехла и хуже отстаивающийся. В литературе приводятся такие результаты ситового анализа шлама, накопившегося в ванне сернокислого никеля, содержащей 45 г/л хлористого никеля: шлам высококачественного неактивированного электролитического никелевого анода содержал частиц крупнее 160 мкм — 55 %, мельче 40 мкм — 24 %; шлам анода, активированного серой, содержал частиц крупнее 160 мкм — 3 %, а частиц меньше 40 мкм — 86 %.

Неудобства от наличия мелкого шлама окупаются возможностью работы при большой анодной плотности тока.

## 15. Эксплуатация анодов

**Габаритные размеры и профиль анодов.** При работах по уходу за анодами их приходится часто вынимать из ванны, поэтому они не должны быть слишком тяжелыми. Женщинам запрещено поднимать тяжести более 16 кг, но учитывая неудобство снятия анода с задней анодной штанги и необходимость его выдержки на весу для стекания раствора из чехла, не следует делать аноды тяжелее 10—12 кг. Масса анода толщиной 10 мм на каждый 1 дм<sup>2</sup> площади его поверхности для различных металлов (г) следующая:

Железо	790
Золото	1930
Кадмий	865
Кобальт	890
Медь	894
Никель	890
Олово	730
Свинец	1135
Серебро	1049
Титан	450
Цинк	714
Латунь	870

Поперечное сечение у распространенных анодов обычно прямоугольное, поскольку их режут из прокатанного листа, но это не самое выгодное сечение, потому что анод срабатывается главным образом с боков и снизу. Часто встречающиеся в производстве цилиндрические аноды (диаметрами 30—50 мм) удобны в эксплуатации и их фактическая поверхность в 1,57 раза больше проекционной. В иностранной литературе рекомендуют, например, для медных пирофосфатных ванн аноды с сечением, напоминающим шестеренку; поверхность такого анода в 2—3 раза больше проекционной.

**Подвешивание анодов.** Плоский анод подвешивают на двух крюках из медного или латунного прутка или полоски, нижние концы которых, загнутые на пол окружности с внутренним радиусом, равным одинарной или полуторной толщине анода, заведены в отверстия, просверленные около верхнего края анода. Свободный конец загиба не должен выходить из отверстия анода выше горизонтального диаметра загиба — длинный конец мешает надеванию анода. Отверстие в аноде должно быть на 5—8 мм больше диаметра прутка крюка. Расстояние от центра отверстия до верхнего края анода примерно равно полутора диаметрам отверстия, а при завешенном в ванну аноде расстояние от центра отверстия до зеркала раствора должно быть не менее 50 мм (рис. 25). Верхняя часть крюка и его электрический расчет делаются так же, как и у крюка подвески.

Нерастворимые аноды из свинца и его сплавов, особенно для хромировочной ванны, приходится делать сложнее. Их нельзя изготавливать из листа и, тем более,

нельзя вешать на анодную штангу обернув вокруг нее верхний край листа. Такой способ подвешивания не дает надежного контакта со штангой из-за плохого прилегания и загрязнений (окислов и засохших брызг раствора), но, что еще важнее, из-за плохой электропроводности свинца (только 8 % от проводимости меди) падение напряжения вдоль даже не длинного

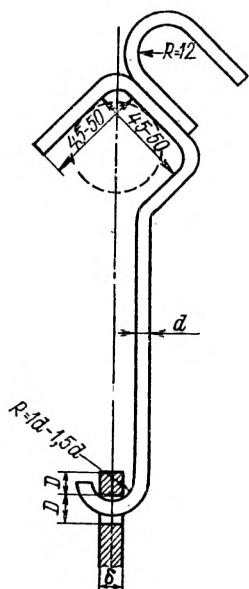


Рис. 25. Крюк для подвешки анода,  $D \geq d+5$

анода катастрофически скажется на покрытии нижней части деталей. Анод должен быть отлит из свинца или его сплава в виде пластины толщиной 10—15 мм или цилиндра диаметром 20—50 мм, внутрь которого залит на  $\frac{2}{3}$ — $\frac{3}{4}$  длины анода медный или латунный стержень. Верхний конец стержня, выступающий из анода, загнут в стандартный подвесной крюк. Очень важно, чтобы залитая внутрь анода часть стержня крюка была предварительно тщательно покрыта оловом (для надежного контакта). Для надежного крепления в аноде на ней должны быть сделаны заусенцы (3—6 заусенцев, надрубленных зубилом) или конец стержня немного загнут, иначе стержень может вытянуться из анода (рис. 26).

Изложница для отливки плоского анода из свинца или его сплава может быть сделана из листа кровельного железа, края которого отогнуты вверх на толщину будущего анода. В одной из торцовых стенок бортика сделан вырез, куда перед отливкой закладывается стержень анодного крюка. Зазор между краем выреза и стержнем плотно закрывают клочком асбеста и крюк во время заливки и полминуты после заливки, пока металл не затвердеет, придерживают плоскогубцами, чтобы стержень не всплыл (рис. 27).

Изложницу для круглого анода делают из отрезка водопроводной трубы, разрезанной ножовкой по диаметральной плоскости. Полученные два полуцилиндра

складывают в цилиндр, связывают проволокой (некоторая нецилиндричность за счет толщины реза роли не играет). Через нижнее отверстие вставляют стержень

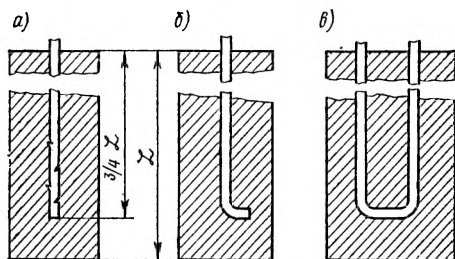


Рис. 26. Закрепление стержня анодного подвесного крюка в литом нерастворимом аноде из свинца или свинцового сплава: а — нижний конец стержня с заусенцами; б — загнутый нижний конец стержня; в — П-образный загиб стержня

крюка, затыкают отверстие вокруг него асбестом и, придерживая крюк плоскогубцами или зажав его в тиски, заливают через верхнее отверстие свинец. В обоих случаях после выемки плоского или круглого анода из изложницы надо тщательно проверить, не обнажился ли где-нибудь стержень. Небольшие аноды из свинца можно отливать просто в трубку, свернутую из плотной бумаги.

**Анодные чехлы.** При растворении всех анодов образуется шлам — выкрошившиеся кристаллики металла, окислы, межкристаллические включения и пр.

Этот шлам легко взмучивается в ванне, осаждается на детали, ухудшая внешний вид и качество покрытия. Чтобы шлам не попадал в ванну, на аноды надевают

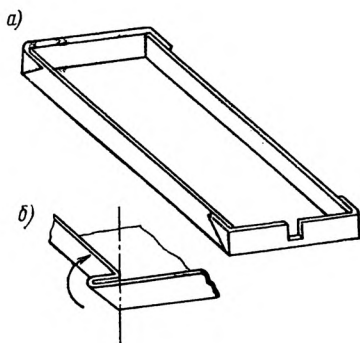


Рис. 27. Изложница типа подноса для отливки плоских нерастворимых анодов из свинца или свинцового сплава: а — общий вид, б — способ загиба угла

чехлы, сшитые из достаточно стойкого в электролите материала в виде открытых сверху мешков с завязками, удерживающими их от сползания с анода. Верхний край чехла должен быть на 50—70 мм выше зеркала электролита, чтобы шлак не могло выплеснуть в ванну. На каждый анод лучше надевать по два чехла один на другой (для гарантии от прорыва).

Из распространенных у нас синтетических тканевых материалов очень удобен для чехлов хлорин (артикул 86006), он достаточно плотен, но при этом поддается сшиванию на бытовой швейной машине. Для не слишком кислых ванн его можно шить обычной хлопчатобумажной ниткой; для сильно кислых ванн его приходится шить вручную ниткой, выдернутой из хлориновой ткани, или склеивать эпоксидным клеем. При этом площадь склейки должна быть возможно меньшей — она непроницаема для электролита. Годаются также плотные сорта полипропиленовых и капроновых тканей. Для не очень кислых ванн можно применять хлопчатобумажные ткани (бязь, фланель, бельтинг) и льняные, суконные не рекомендуется. Перед употреблением чехлы, особенно хлопчатобумажные, надо стирать в горячей воде для отмывки крахмала и других апретурных материалов. Все чехлы надо не реже раза в неделю снимать с анодов, стирать и перед повторным применением внимательно проверять на целость.

## 16. Использование отходов растворимых анодов

Переплавка отходов растворимых анодов для многих заводов затруднительна, да и литые аноды в большинстве случаев работают хуже катаных. Более рационально использование анодных сетчатых корзин, в которые загружают отходы, предварительно нарубленные на кусочки размером от  $25 \times 25$  до  $50 \times 50$  мм. Для цианистых и щелочных ванн корзины делают из углеродистой или коррозионно-стойкой стали, для кислых — из пластмассы или из стали покрытой пластмассой. В пластмассовые корзины опускают пластинку из анодного металла для подвода тока к отходам.

В последнее время в обиход стали входить значительно более удобные титановые корзины. На титане

в присутствии ничтожных следов кислорода или иных окислителей образуется тонкая ( $0,000005$  мм) непроявляющаяся окисная пленка, обладающая свойством существенно снижать свое сопротивление в местах, подвергающихся относительно большому удельному давлению, например под краем лежащего в корзине обрезка. В других местах эта электрически и химически изолирующая пленка сохраняет свои электрические свойства. Ее пробивное напряжение в растворе сульфатов или серной кислоты доходит до  $80$  В, в солянокислой среде оно падает до  $7-8$  В, что тоже достаточно для работы ванны, а в обычных сернокислых электролитах с примесью хлоридов имеет какую-то промежуточную величину. Пленка разрушается только в присутствии иона фтора. Такая корзина в никелевом электролите требует лишь на  $0,1$  В большее напряжение, чем обычный плоский анод — это в пять раз меньше экономически допустимой разницы.

При пользовании титановыми корзинами нужно, чтобы корзина была всегда наполнена анодными обрезками выше верхнего края деталей. В случае, если какая-либо выступающая точка детали окажется вблизи пустой части корзины, против нее на стенке корзины в точке  $y$  возможно повышение напряжения, приводящее к пробое пленки и коррозии титана (рис. 28). При нахождении под током совершенно пустой корзины ее потенциал может подняться до потенциала анодного окисления, что, наоборот, сильно утолстит пленку и корзину придется протравить для восстановления электрического контакта с обрезками металла. Без тока в неработающей ванне корзина может находиться и пустой, и полной. На корзину надевают чехол, как на обычный анод.

Действующая площадь анодной корзины примерно в полтора раза больше площади ее проекционной поверхности. На  $1$  дм<sup>2</sup> площади проекционной поверхности корзины можно подавать ток до  $6,5$  А.

**Конструкция анодной титановой корзины.** Сечение корзины, как правило, прямоугольное, толщиной от  $50$  до  $100$  мм (в более узких анодные обрезки могут заклиниваться и зависнуть), шириной  $100-300$  мм. Высота корзины обычно равна высоте анода. Верхний край корзины должен быть выше зеркала электролита

на 50—70 мм для возможности ее загружать не вынимая из ванны. Торцовые стенки делают сплошными, стенки, обращенные к деталям, — из сетки или из горизонтальных прутков с интервалами порядка 20 мм и вертикальных, сдерживающих горизонтальные от выпучивания, с интервалом 70—100 мм, дно — в виде сплошного поддона с

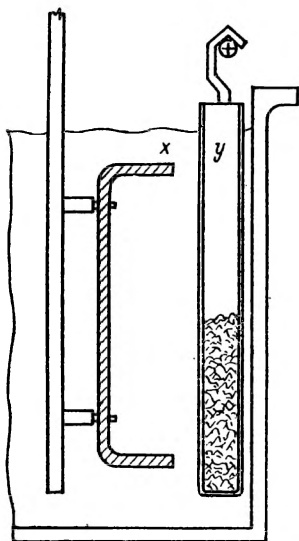


Рис. 28. Относительное расположение анодной корзины и деталей, ведущее к возможному пробою корзины

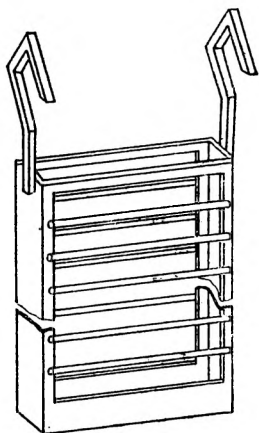


Рис. 29. Конструкция анодной титановой корзины

бортиками высотой 20—30 мм (рис. 29). На рисунке вертикальные прутки не показаны.

Сварку всех стыков лучше вести аргоно-дуговым способом, но даже при значительном различии в толщине свариваемых деталей, хорошо зачищенных поверхностей и быстрой сварке (менее секунды на точку) титан удастся доброкачественно сварить обычной точечной или контактной сваркой — при быстрой сварке кислород и азот воздуха не успевают продиффундировать к месту сварки. Сетку лучше варить заложив ее край между стенкой корзины и накладкой из титановой полоски точечной сваркой с интервалами точек 25—50 мм. После сварки желательно корзину протравить.

Шов, выполненный аргонной сваркой, должен быть светлым, но не серым или белым.

**Подвешивание титановой анодной корзины.** Корзину подвешивают на анодную штангу двумя крюками, приваренными к торцовым стенкам. Крюки выгоднее делать

из полосы с отношением сторон  $1:2=1:4$ , расположенной своим узким ребром в сторону анодной штанги (рис. 30). Такой крюк лучше охлаждается и создает большее удельное давление в зоне контакта. Затачивать это

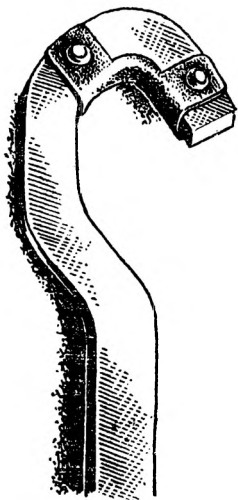


Рис. 30. Подвесной титановый крюк анодной корзины с приклепанной медной или никелевой накладкой — для улучшения электрического контакта с арматурной штангой

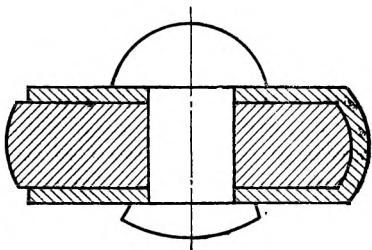


Рис. 31. Разрез крюка, изображенного на рис. 30, в месте приклепки к нему накладки

ребро на лезвие для увеличения давления в контакте стоит только при сравнительно небольших токах, ибо отвод теплоты от лезвия хуже, чем от тупого ребра. Для улучшения контакта при больших токах к контактирующему ребру приклепывают медную или, лучше, никелевую накладку (рис. 31).

Насыпная плотность никелевых шариков около  $5,7 \text{ кг/дм}^3$ , никелевых квадратиков размером  $25 \times 25 \text{ мм}$  — около  $5,0 \text{ кг/дм}^3$ , а механическая нагрузка, выдерживаемая в пределах упругости титановым крюком сечением  $6 \times 6 \text{ мм}$ , составляет  $100 \text{ кг}$ , сечением  $12,5 \times 12,5 \text{ мм}$  —  $250 \text{ кг}$ , а при сечении  $25 \times 6 \text{ мм}$  —  $1,8 \text{ т}$ .

**Электрический расчет титановой корзины.** Электропроводность титана в 28 раз хуже, чем меди, поэтому сечение токонесущих титановых деталей корзины, расположенных выше зеркала электролита, берут из расчета  $1 \text{ А/мм}^2$ , а погруженных в электролит — до  $5 \text{ А/мм}^2$ . При нагрузке 125 А на крюк сечением  $25 \times 6 \text{ мм}$  и длиной 150 мм с приклепанной медной накладкой при работе над горячей ( $60\text{—}70^\circ\text{C}$ ) никелевой ванной, при перегреве крюка на  $25^\circ\text{C}$  сверх температуры анодной штанги ( $50\text{—}60^\circ\text{C}$ ) энергетические потери на нагрев крюка составляют 8 Вт; при нагрузке 65 А, размере крюка  $12 \times 6 \times 150 \text{ мм}$  и прочих вышеприведенных условиях потери равны 4 Вт. Переходное сопротивление заклепки накладки ничтожно, при ее диаметре 6 мм оно менее  $3 \cdot 10^{-5} \text{ Ом}$ . При полной нагрузке ванны потери в крюках составляют менее 1 % от общего расхода электроэнергии.

## Глава 4. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ВАНН

В силовых электрических сетях применяется переменный ток, т. е. ток, меняющий свою силу, напряжение и направление движения 50 раз в секунду (50 Гц). Этот ток применяется в гальванических цехах для приведения в движение электромоторов, для нагрева растворов в ваннах и для преобразования его в постоянный ток, нужный для электрохимических (в том числе гальванических) процессов. Постоянный ток идет все время в одном направлении с постоянными силой и напряжением. Через электролиты прохождение тока осуществляется за счет движения ионов: положительные ионы (катионы) переносятся к электроду, соединенному с отрицательным полюсом источника тока (катоду), а отрицательные ионы (анионы) — к электроду, соединенному с плюсом источника тока (аноду).

Разница напряжений (В) между началом и концом электрической цепи (или какого-либо участка цепи)  $U$ , заставляющая идти по цепи электрический ток, равна силе тока  $I$  в цепи или ее участке (А), умноженной на электрическое сопротивление цепи (участка)  $R$  (Ом)

$$U = IR. \quad (21)$$

Это очень важный закон Ома, с практическими следствиями которого гальванику постоянно приходится сталкиваться. Из этого закона следует, что при увеличении сопротивления какого-нибудь участка, например

в загрязнившемся контакте, при неизменном напряжении сила тока упадет и, чтобы сохранить ее прежнюю величину, придется увеличить подаваемое напряжение.

## 17. Источники постоянного тока

Генераторные агрегаты типа АНД ныне сняты с производства, но так как они еще работают на некоторых заводах, коротко остановимся на них. Агрегат состоит из шунтовой динамомашины постоянного тока и трехфазного электромотора, установленных на общей фундаментной плите. Шунтовые динамомашины с самовозбуждением при коротких замыканиях автоматически снижают ток возбуждения до нуля и поэтому короткое замыкание в гальванических ваннах для них не вредно. Машины на 5000/2500 А и на 10 000/5000 А имеют внешнее возбуждение (от отдельного генератора) и таким автоматическим защитным свойством не обладают. Имеющиеся во всех машинах НД дополнительные полюса служат для поддержания устойчивого положения электрического диаметра при изменениях нагрузки без необходимости передвигать щетки. Напряжение и сила тока достаточно плавно регулируются реостатом возбуждения.

Уход за генераторами в основном сводится к своевременной замене изношенных щеток и предварительной притирке новых перед их установкой в щеткодержатели. Притирка производится движением вручную каждой щетки в отдельности по положенному на неподвижный коллектор куску стеклянной шкурки. Применять шкурку с иным абразивным материалом нельзя. При установке щетки в щеткодержатель надо проследить за совпадением ее притертого по цилиндрической поверхности конца с направлением кривизны коллектора. Коллектор требует периодического протирания сухой чистой тряпкой от пыли, периодического срезания края межламельной слюдяной изоляции, выступившего в результате износа медной ламели выше уровня коллектора, а изредка и проточки коллектора.

При неправильном подключении выводов обмотки возбуждения на клеммном щитке машины, при остановке генератора без предварительного отключения питавшейся им гальванической ванны (в особенности,

если это ванна с сильно поляризующимися анодами, например, хромировочная) и в некоторых других случаях железо полюсов может потерять свой остаточный магнетизм и машина при запуске не даст напряжения. Тогда надо параллельно к выводам обмотки возбуждения, не отключая ее от машины, подключить внешний источник напряжения, могущий дать ток в 27 А при 6 В (автомобильный аккумулятор, выпрямитель или другой генератор — направление его тока при подключении к машине малосущественно), и запустить генератор. Через несколько минут машина даст напряжение и внешний источник можно будет отключить. Прежде, чем включать гальванические ванны, надо проверить

Таблица 7. Характеристики кремниевых выпрямителей

Тип выпрямителя	Выходная мощность, кВт	Напряжение, В	Сила тока, А	КПД, %	cos φ
БАК-100-12	1,2/0,6	12/6	100	78/72	—
БАК-100-24-4	2,4/1,2	24/12	100	84/80	0,82/0,81
БАКР-100-24	2,4/1,2	24/12	100	78/72	—
БАКГ-18/9-320	5,76/2,88	18/9	320	70/67	0,64/0,67
БАКР-320/18-4	5,76/2,88	18/9	320	79/72	0,82/0,81
БАК-630-24-4	15,1/7,55	24/12	630	88/85	0,90/0,90
БАКГ-12/6-630-4	7,56/3,78	12/6	630	70/63	0,68/0,73
БАКР-630-12-4	7,56/3,78	12/6	630	82/73	0,83/0,83
БАКГ-12/6-1500 (1600)-4	19,2/9,6	12/6	1 600	72/65	0,7/0,66
БАКР-1600-12-4	19,2/9,6	12/6	1 600	82/70	0,91/0,86
БАКГ-12/6-3200-4	38,4/19,2	12/6	3 200	75/70	0,7/0,68
БАКР-3200-12-4	38,4/19,2	12/6	3 200	83/71	0,91/0,86
БАК-6300-12-4	75,6/37,8	12/6	6 300	84/70	0,89/0,88
БАКР-6300-12-4	75,6/37,8	12/6	6 300	84/70	0,89/0,88
БАК-12500-12-4	150/75	12/6	12 500	84/70	0,89/0,88
БАК-12500-24-2	300/150	24/12	12 500	88/76	0,87/0,87

Примечание. Выпрямители типа БАКР могут работать продолжительность прямого тока в пределах от 1 с до долговременность, прямого и обратного тока не ограничена.

полярность машины — она могла при этой операции измениться. В этом случае надо изменить полярность присоединения силовых выводов машины к ванне, но не менять присоединение выводов проводов возбуждения на клеммной щитке машины.

**Выпрямители.** Выпрямитель состоит из трансформатора, преобразующего ток высокого (220 или 380 В) напряжения и малой силы в ток низкого напряжения и большой силы, и электрических вентилях (селеновых, кремниевых или германиевых), преобразующих переменный ток в постоянный. Выпрямители с селеновыми вентилями имеют большие габариты, германиевые выпрямители — вдвое меньше и вдвое легче, но они боятся

#### Быстровского электротехнического завода

Способ охлаждения	Габариты,	Масса, кг
Воздушное естественное	1000×850×570	190
Естественное	1565×765×515	250
Воздушное естественное	1000×850×570	190
» »	1690×870×495	300
» »	1600×870×530	230
Общее — естественное, тиристор — водяное	1790×1085×600	550
Воздушное принудительное	1690×870×495	350
» »	1600×870×530	260
Общее — воздушное, вентиля — водяное	1770×916×752	650
Общее — естественное, тиристор — водяное	1985×1290×820	1100
Общее — воздушное, вентиля — водяное	1770×916×890	850
Общее — естественное, тиристор — водяное	1985×1275×840	1300
Общее — естественное, тиристор — водяное	1860×2510×2460	3500
Общее — естественное, тиристор — водяное	1980×2680×2460	4100
Общее — естественное, тиристор — водяное	2375×2945×2400	5650
Трансформатора — воздушное, тиристор — водяное	3300×2650×3000	9700

с реверсом тока, давая возможность в автоматическом режиме регулирования и обратного тока от 0,1 с до 1 мин, при ручном управлении про-

перегрузок, кремниевые—габариты имеют малые и мало боятся перегрузок. Пробивное напряжение кремниевых вентилях 200—1000 В, тогда как селеновые пробиваются уже при 17 В. Поэтому не рекомендуется селеновые выпрямители нагружать слишком 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. Кремниевым вентилям такая опасность практически не угрожает. В табл. 7 приводятся данные по кремниевым выпрямителям, выпускаемым Быстровским электротехническим заводом.

**Монтаж генераторов и выпрямителей.** Генераторы АНД — машины открытого типа, поэтому их нежелательно ставить в одном помещении с гальваническими ваннами и ваннами с кипящей водой. Но в то же время и нельзя ставить их дальше, чем на 10 м от ванны, иначе падение напряжения в подводящих шинах или кабелях будет слишком велико, даже если, как это принято, расчет сечения шин (или кабелей) предусматривает нагрузку в 2 А/мм<sup>2</sup>. Допустимое падение напряжения на силовых шинах (или кабелях) в оба конца не должно превышать 5 % <sup>1</sup>, а в проводах к реостату тока возбуждения, тоже в оба конца, — 2 %. Это более жесткое требование, чем принятое для обычных силовых сетей, вызвано тем, что применяемые в гальванике источники тока дают малый избыток напряжения по сравнению с напряжением, требующимся на зажимах ванн для очень многих гальванических процессов. Ставить генераторы надо на бетонный фундамент по уровню.

Выпрямители можно ставить непосредственно около ванн; они не боятся влажности воздуха до 80 %, но нужно периодически производить просушку и возобновлять пропитку лаком обмоток трансформатора, дросселей и т. п., как это обычно делается и с обмотками электромоторов. Не допустимо попадание струи раствора или воды внутрь выпрямителя. Опасны, конечно, и едкие газы — пары крепких дымящихся

---

<sup>1</sup> При 6 В на источнике тока.

кислот, но их, как правило, в помещении гальванических ванн не бывает. Ставить выпрямители можно прямо на пол, но с отклонением от вертикали на угол не более  $5^\circ$ .

Генераторы и выпрямители можно соединять на стороне постоянного тока последовательно. Желательно только, чтобы обе машины (выпрямители) были на одинаковую силу тока. В противном случае, сила тока установки будет ограничена силой тока меньшей машины (выпрямителя). При параллельном соединении генераторов необходимо при их пуске отрегулировать реостатами возбуждения напряжение всех машин так, чтобы нагрузка распределилась на них поровну. При параллельном включении выпрямителей одинаковых марок никаких усложнений электрических схем не требуется.

## **18. Распределительный щит ванны**

Если ванна питается от установленного вблизи нее современного выпрямителя, оборудованного достаточным ассортиментом регулирующих и измерительных приборов, то в большинстве случаев надобность в установке отдельного распределительного щита отпадает. Однако иногда в дополнение даже к последним моделям выпрямителей приходится ставить разные приборы для расширения диапазона действия приборов выпрямителя (например, при малой загрузке выпрямителя), не говоря уже о тех случаях, когда на выпрямителе их частично или вообще нет.

Распределительный щит (или приборы выпрямителя) должен быть расположен вблизи ванны в хорошо видимом и доступном месте. Гальваник должен уметь и иметь возможность не только устанавливать в ванне заданный режим, но и вовремя обнаруживать по показаниям приборов отклонения от нормального хода процесса. Централизованный щит, удаленный от ванн, оправдывается только в случае высоко автоматизированной установки, обрабатывающей большие серии однотипных изделий.

На щите ванны должны быть установлены следующие приборы (если их нет на стоящем вблизи ванны выпрямителе): пусковое устройство источника постоян-

ного тока (генератора или выпрямителя), регулятор напряжения или силы тока, рубильник, вольтметр и амперметр магнитоэлектрической системы.

В качестве пускового устройства для выпрямителей и моторов генераторных агрегатов обычно устанавливают серийный магнитный пускатель, предпочтительно с тепловым реле, служащим в качестве предохранителя на случай перегрузки источника тока при коротком замыкании в гальванической ванне. Плавкие предохранители в электрических сетях постоянного тока гальванических цехов не ставят вследствие запаздывания их срабатывания при большой рабочей силе тока.

Регулятор напряжения служит для изменения напряжения, а тем самым и силы тока, питающего ванну (при индивидуальном питании одной ванны от данного источника). Для генератора таким регулятором служит реостат в цепи его возбуждения. Для выпрямителей старого типа, не имеющих встроенного регулятора, нужно установить на вводе переменного тока автотрансформатор, допускающий плавное изменение подаваемого напряжения (например, с помощью ползунковых контактов, скользящих по оголенной части витков обмоток автотрансформатора).

Регулятором силы тока, заменяющим регулятор напряжения, может служить секционный реостат, включенный последовательно с гальванической ванной. Его предпочтительно делать из включаемых параллельно, при помощи однополюсных рубильников, секций, каждая следующая из которых имеет омическое сопротивление, вдвое большее предыдущей. Количество таких секций достигает 5—7. Иногда к ним добавляют еще один рубильник, закорачивающий реостат полностью. Этот рубильник может служить и для отключения ванны (при выключенных секциях реостата). Нагрузочный реостат неэкономичен, ибо снижает избыток силы тока превращением его энергии в бесполезно рассеиваемую теплоту, но установка нагрузочных реостатов неизбежна при параллельном питании нескольких ванн от одного источника.

Рубильник, предпочтительно двухполюсный, служит для ручного реверсирования тока (главным образом — в ваннах хромирования и электрообезжиривания) и для обязательного отключения ванны перед

остановкой питающего ее шунтового генератора, во избежание его перемагничивания за счет напряжения поляризации только что работавшей ванны. Если реверс не нужен, то рубильник может быть однополюсный. При реверсе токов более 2000 А перекидной рубильник получается очень громоздким и трудно-переключаемым. В этом случае приходится ставить многополюсные контакторы (по несколько контактов соединяют в параллель) с добавочными блок-контактами, выключающими выпрямитель на стороне переменного тока во время переключения полюсов.

Проще решается вопрос при питании от генератора с посторонним возбуждением, реверс которого легко осуществляется переменной направлением тока в обмотке возбуждения (сила этого тока редко превышает 10 А). Иногда имеет смысл и шунтовые генераторы с самовозбуждением перевести на постороннее возбуждение (например, от выпрямителя на 6 В, 27 А), передав функцию защиты от короткого замыкания тепловому реле в пускателе электромотора агрегата.

На распределительном щите ванны должен быть установлен вольтметр магнитоэлектрической системы. Провода к нему могут быть тонкими, но из опасения случайного обрыва желательно брать их сечение не меньше 1 мм<sup>2</sup>. Эти провода должны быть подключены как можно ближе к штангам ванны, т. е. к тем точкам, напряжение между которыми интересует гальваника. Между точками подключения вольтметра и ванной не должно быть никаких устройств с заметным электрическим сопротивлением, например реостатов.

Амперметр, установленный на щите ванны, также должен быть магнитоэлектрической системы, обычно с наружным шунтом. При установке шунта надо проследить, чтобы он по номинальной силе тока и падению напряжения соответствовал амперметру (ГОСТ 8042—78). Если нет калиброванных (для данного шунта) проводов, то провода от шунта к амперметру надо взять сечением 2,5 мм<sup>2</sup> и длиной не более 1 м каждый. Следует предостеречь от применения амперметров электромагнитной системы, так как помимо их неудобной шкалы и несовпадающих показаний при работе на постоянном токе, они могут ввести в заблуждение в случае пробоя хотя бы части вентилях выпрями-

теля, ибо электромагнитный прибор покажет сумму постоянной и переменной составляющих тока, тогда как магнитоэлектрический покажет только постоянную составляющую.

**Арматура ванны.** Под арматурой ванны подразумевается комплект анодных и катодных штанг, устройства для их крепления над ванной и для подвода к ним тока.

Диаметр анодных и катодных штанг должен быть не меньше 20—25 мм; более тонкие прогибаются под

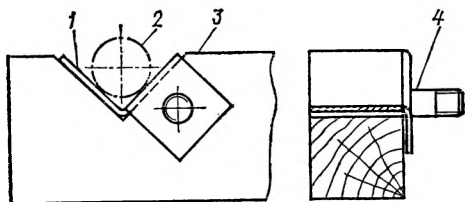


Рис. 32. Опорная доска с контактным устройством для легкосъёмных штанг (изображена часть доски с одним контактом):

1 — уголкового контакта (красная медь); 2 — штанга (анодная или катодная); 3 — опорная доска (дерево, текстолит или винипласт); 4 — болт для присоединения кабеля (латунь)

весом анодов и деталей. Сечение медных штанг следует брать из расчета не более  $1,5\text{--}2\text{ А/мм}^2$ , а латунных — не более  $0,5\text{ А/мм}^2$ . Крепление штанг на фарфоровых изоляторах громоздко и, как правило, при применяемых в гальванотехнике низких напряжениях, не нужно. Достаточно надежны текстолитовая, винипластовая или простая сосновая доска, поставленная своим продольным ребром на обвязку ванны. На верхнем ребре этой доски делаются вырезы под углом  $45^\circ$  к ребру. В каждый вырез укладывается и привинчивается парой шурупов медная полоска, согнутая под углом  $90^\circ$ , имеющая отгиб с болтом для крепления токоподводящего кабеля (рис. 32).

Штанга лежит одним своим концом на медном контактном уголке одной опорной доски, а другим — в вырезе такой же доски на противоположной стенке ванны (наличие контактных уголков на этой второй доске

при не слишком длинной ванне и не очень большом токе необязательно, так как, например, в ванне длиной 1,5 м при нагрузке на медную штангу диаметром 25 мм током 250 А падение напряжения между концами соседних катодной и анодной штанг по сравнению с напряжением между их началами составит только 0,03 В).

Достаточно надежный контакт осуществляется за счет тяжести висящих на штанге деталей или анодов. Штангу удобно снимать для чистки. Ее можно снять тельфером вместе с висящими на ней изделиями и перенести в другую ванну или на разгрузочную площадку.

**«Двухэтажная» арматура ванны.** Для ванн, требующих взаимосвязанного завешивания деталей и ано-

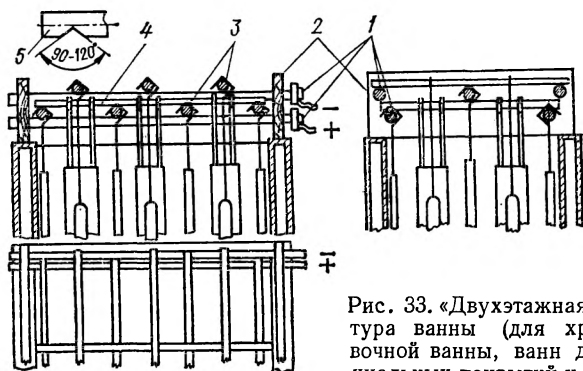


Рис. 33. «Двухэтажная» арматура ванны (для хромировочной ванны, ванн для специальных покрытий и прочих

ванн, требующих сложного завешивания деталей и анодов):

1 — основные продольные штанги; 2 — опорные доски; 3 — дополнительные переставные штанги, уложенные во втором ярусе; 4 — дополнительные штанги, уложенные в третьем ярусе, поперек штанг 3; 5 — выборка угловой фаски для улучшения контакта дополнительных штанг с основными и с другими дополнительными (не обязательна)

дов (например, ванны для твердого хромирования, для специальных покрытий и т. п.) удобна арматура, изображенная на рис. 33, которую, в отличие от обычной арматуры с расположением анодных и катодных штанг в одной плоскости, можно было бы назвать «двухэтажной». Она состоит из двух анодных штанг, расположенных над зеркалом ванны, приблизительно на 30—50 мм от стенки в сторону середины ванны и

немного выше бортового отсоса, и двух катодных штанг, центры которых расположены на 50—100 мм выше центров анодных штанг и на 50—100 мм дальше от них в наружную сторону ванны. Штанги должны лежать выше бортового отсоса, чтобы на них не попадали брызги раствора, выбрасываемые газом из электролита. Подвод тока к продольным штангам может быть выполнен медными уголками, как описано выше, или кабелями, прикрепленными болтами непосредственно к штангам (при больших токовых нагрузках). В последнем случае штанги можно не класть в угловые вырезы, а просунуть сквозь отверстия в опорных досках.

На продольные анодные штанги в любом месте и в любом количестве свободно кладутся поперек штанги меньшего сечения; такие же поперечные штанги, но соответственно несколько более длинные, кладутся поперек катодных штанг. На поперечные штанги может быть положен третий ярус в перпендикулярном или косом направлении 4 (рис. 33). Получается очень гибкая универсальная система, позволяющая завешивать изделия в несколько рядов, а аноды вокруг каждой детали расположить в виде квадратной, многоугольной или асимметричной клетки. Ток на каждую поперечную штангу и на ее контакт с продольной приходится сравнительно небольшой, но для улучшения контакта можно около концов поперечной штанги сделать на ней вырезы под углом 90—120°, которыми она ляжет на продольную штангу.

## 19. Специальные схемы питания ванн

**Работа ванны на токе малой силы.** В большинстве старых моделей выпрямителей снижение силы тока ниже номинала достигалось путем переключения секций обмоток трансформатора. Это допускает только очень грубое регулирование, редко со степенями меньшими 3 В, что абсолютно недостаточно для точной установки заданной плотности тока при изменении загрузки ванны. Хорошим решением является питание такого выпрямителя через установленный на стороне переменного тока автотрансформатор с плавным регулированием его выходного напряжения ползунковым контактом.

Современные кремниевые выпрямители имеют устройство для плавного снижения силы тока, однако оно не может снизить силу тока меньше, чем до 20—10 % от номинала. В случае, если часто возникает надобность брать от питающего ванны выпрямителя ток и большой силы, соизмеримой с максимальной (номинальной) и малой, меньшей 20 % от номинальной, то приходится дополнительно включить в линию постоянного тока нагрузочный реостат, рассчитанный на эту малую величину.

Одновременно почти всегда возникает потребность и в установке дополнительного амперметра на этот же ток меньшей силы, поскольку установленный на выпрямителе амперметр на номинальную силу тока не позволяет из-за большой цены деления своей шкалы точно отсчитывать токи малой силы. В начале шкалы для большинства электроизмерительных приборов разрешается гораздо большая ошибка, чем допускаемая согласно классу данного прибора для рабочей части шкалы. Реостат и добавочный амперметр должны иметь закорачивающий рубильник, могущий пропустить полный (номинальный) ток выпрямителя (рис. 34). Этот рубильник, естественно, получается довольно громоздким.

Избежать установки такого неудобного рубильника можно, если сделать проводку от выпрямителя к ванне двумя линиями: одна линия должна идти прямо к ванне, а другая — через нагрузочный реостат и дополнительный амперметр. Обе эти линии идут к катодной штанге, переключать штангу с одной линии на другую можно переставляя кабели у штанги. Но задача решается проще и удобнее, если арматура ванны выполнена по способу, описанному на с. 32, — с легко-съемными штангами. В этом случае прямой провод от выпрямителя присоединяют к уголковым контактам на той опорной доске, которая ближе к выпрямителю, а провод от дополнительного амперметра и реостата (он может быть потоньше) — к уголковым контактам в вырезах дальней опорной доски. Анодный провод идет к «уголковым» контактам анодных штанг и никаким изменениям не подвергается. В каком проводе окажется включенным смонтированный на выпрямителе основной амперметр — в катодном или анодном —

безразлично. На один конец каждой катодной штанги в том месте, где он лежит на контактном уголке, надевают небольшой отрезок резинового шланга или трубку из любого нетолстого изоляционного материала (пло-

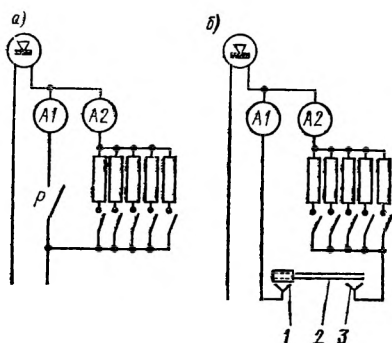


Рис. 34. Схема включения нагрузочного реостата в сети ванна—выпрямитель для регулирования более слабых токов, чем допускает регулятор выпрямителя: а — с использованием закорачивающего рубильника, рассчитанного на полную силу тока выпрямителя; б — с применением легкоосъемных штанг и с переворачиванием катодных штанг при переходе с малых токов на большие или обратно:

1 — уголковый контакт на более близкой к выпрямителю опорной доске;  
2 — катодная штанга с надетой на один конец изолирующей трубкой;  
3 — уголковый контакт на дальней доске

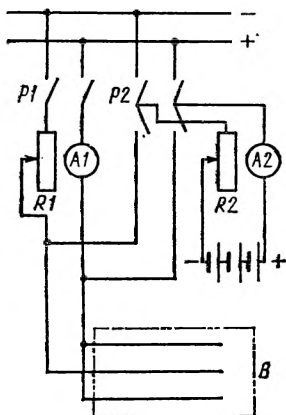


Рис. 35. Схема включения буферного питания от аккумулятора к ванне: *P1* — двухполюсный рубильник в цепи основного питания ванны; *P2* — двухполюсный перекидной рубильник в цепи буферного питания; *R1* — нагрузочный реостат ванны; *R2* — реостат буферной аккумуляторной цепи (например, лабораторный ползунковый реостат на 5—10 А и 50—200 Ом); *A1* — амперметр в основной цепи ванны; *A2* — амперметр в цепи аккумулятора; *B* — гальваническая ванна

ская полоска резины, положенная на контакт, может незаметно выпасть из-под штанги). Перед загрузкой изделий, в зависимости от требуемого тока, обе катодные штанги кладут изолированными концами либо на дальнюю от выпрямителя опорную доску и работают на большом токе через основной амперметр, либо на

ближнюю опорную доску и работают на малом токе через реостат и дополнительный амперметр (см. рис. 34, б).

При пользовании такой схемой надо учесть сказанное ранее относительно недопустимости работы некоторых типов селеновых выпрямителей при малой нагрузке.

**Работа с резервно-буферным аккумулятором.** При наращивании толстых многомиллиметровых слоев специального никелевого покрытия в условиях случавшихся иногда перерывов тока была с успехом применена приведенная на рис. 35 схема подключения к ванне буферного свинцового автомобильного аккумулятора на 6 В. Был взят именно свинцовый аккумулятор вследствие постоянства подаваемого им напряжения, что облегчало наладку схемы. Реостатом  $R2$  ток аккумулятора при работающей ванне регулировался так, чтобы амперметр  $A2$  показывал минимальный ток, близкий к нулю. При перерыве в подаче тока из сети аккумулятор автоматически начинал подавать на ванну хотя и слабый, но заметный ток (несколько ампер) того же направления, что и ток электролиза. Это возможно потому, что при слабом токе напряжение на ванне заметно ниже (меньше поляризация), чем при нормальной плотности тока никелирования, но этого меньшего напряжения вполне хватало для поддержания катодной поляризации детали и предотвращения пассивирования слоя никеля и его отслаивания. Желательно иметь амперметр  $A2$  с нулем посередине шкалы. Перекидной рубильник  $R2$  предназначен для зарядки аккумулятора при неработающей ванне от ее источника тока.

## **Глава 5. ПОДВЕСОЧНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ**

Назначение подвесочных приспособлений заключается не только в создании опоры деталей в ванне, но и в подводе к ним тока. К подвесочным приспособлениям предъявляется еще ряд важных требований: 1) обеспечить возможно более равномерное распределение тока по поверхности деталей, что содействует получению более равномерного по толщине покрытия

с хорошими механическими и защитно-декоративными свойствами; 2) позволить быстро монтировать и надежно крепить детали, чтобы они не сваливались с подвески при переносках и не теряли надежного электрического контакта с ней при интенсивном перемешивании раствора ванны, газовой выделении, случайных толчках и т. п.; 3) быть экономичными, т. е. позволять загружать ванну возможно большим количеством деталей (допустимым без вреда для качества), быть дешевыми и простыми в изготовлении и при ремонте; 4) быть удобными в работе, при переноске, при монтаже и демонтаже, при хранении; 5) конструкция и материал подвесок и приспособлений должны позволять обрабатывать на них заданные детали по возможности на всех операциях цикла гальванической обработки с самым минимальным количеством перемонтировок на другие приспособления (разумеется, не считая неизбежного демонтажа для механической обработки).

Сконструировать приспособление, отвечающее всем этим требованиям, — дело нелегкое. Следует считать вполне нормальным, если приходится, особенно для сложных деталей, сделать и опробовать в работе несколько вариантов, отбросить неудачные и остановиться на лучшем.

Из следующего ниже текста видно, что очень немногие детали подвесочных приспособлений поддаются простому и точному расчету. При конструировании подвесочных приспособлений гальванику почти всегда приходится полагаться на свое чутье, основанное на внимательном наблюдении за результатами условий крепления и загрузки деталей в ванну при покрытии, устойчивостью ориентации, надежностью контакта. Хорошо, если есть возможность уточнить эти наблюдения хотя бы измерением толщин получаемых покрытий.

Конструирование подвесочных и защитных приспособлений — благодарное и нужное поле деятельности рационализатора.

## **20. Типы приспособлений для завешивания деталей в ванны**

Самый старый и трудоемкий способ завешивания деталей — это навязывание их на проволоку, обычно по несколько штук «косичкой». Этот способ нарушает

все требования, предъявляемые к подвешиванию, кроме, пожалуй, дешевизны материала. Кроме того, он очень трудоемок. В одном цехе с десятью ваннами по 800 л, в котором среднесерийные партии деталей с площадью поверхности по 1—5 дм<sup>2</sup> навязывали по 6—10 шт. на тонкую медную проволоку, удалось после перевода на подвески высвободить по 12—14 чел. в смену, занимавшихся ранее навязыванием деталей на проволоку.

Подвешивание (индивидуальное) крупных деталей на проволоку можно допустить только при штучных, неповторяющихся работах. Во всех других случаях оправдывается изготовление, иногда специальных, а часто даже относительно универсальных подвесочных приспособлений.

Наиболее универсальные и наиболее часто применяемые типы подвесочных приспособлений — это «елочка» и «рамка». «Елочка» представляет собой вертикальный стержень с подвесным крюком, которым она вешается на штангу ванны. Контакты для крепления деталей расположены на нескольких «этажах» в плоскостях, перпендикулярных вертикальному стержню. Контакты для изделий 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 особенностями «елочки» являются, во-первых, то, что детали одного «этажа» расположены под разным углом к плоскости анода (или катода); во-вторых — ограниченность размеров деталей, висящих на боковых контактах. Достоинством «елочки» является благодаря ее малому диаметру возможность использовать практически всю длину арматурной штанги ванны без необходимости увязывать диаметр «елочки» с длиной штанги.

«Рамка» 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 подвески деталей. Самая верхняя и самая нижняя поперечины, близкие к зеркалу раствора и ко дну ванны, иногда не несут кон-

тактов. Необязательно, чтобы боковые стороны рамки являлись стержнями подвесных крюков. Крюки могут быть прикреплены и не по краям рамки, что иногда может быть даже выгодным с точки зрения распределения тока, но конструктивно удобнее расположение подвесных крюков по краям. Кроме того, такое их расположение помогает следить за сохранностью висящих по краям «рамки» деталей при переносе и при опускании рамки в ванну.

Главное достоинство «рамки» по сравнению с «елочкой» 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, механическим свойствам и внешнему виду. Второе достоинство «рамки» — конструктивная легкость превращения ее в сложное подвесочное приспособление при монтаже на ней более или менее сложных дополнительных устройств (экранов, защитных катодов, вспомогательных анодов и т. п.). И третьим ее достоинством является возможность сделать ее значительно более вместительной по количеству и площади уместяющихся на ней деталей, чем «елочка», что существенно повышает производительность труда при монтаже. Недостатком «рамки» можно считать необходимость увязывания ее размеров с длиной штанг ванны, чтобы она умещалась во всех ваннах линии с возможно более полным использованием их длины. При разномастных ваннах в линии выбор размеров подвесок иногда бывает затруднительным (впрочем, особенно точной подгонки не требуется).

**Размеры подвесочных приспособлений.** Размеры всех подвесочных приспособлений, независимо от их типа, выбираются так, чтобы расстояние от дна ванны (или от металлического земеевика 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. Необходимость зазора от низа подвесочного приспособления до дна вызвана опасностью взмучивания шлама со дна ванны и часто наблюдающимся снижением температуры около дна ванны при отсутствии перемешивания. Зазор между уровнем электролита и верхом деталей нужен

на случай понижения уровня за счет испарения и иногда для устранения осаждения на деталях пыли или иных загрязнений, попадающих на поверхность электролита.

Расстояние между соседними подвесками типа «елочки» должно быть таким, чтобы зазор между деталями на соседних краях висящих рядом приспособлений был не меньше расстояния между изделиями, висящими на противоположных концах диаметра этажа каждой «елочки». Подвески типа рамки можно вешать практически вплотную одну к другой при условии, если соблюдено нормальное расстояние между крайней деталью и вертикальной стороной рамки. Между крайней подвеской любого типа и торцевой стенкой ванны зазор должен быть не менее 100 мм при непроводящей футеровке стенки и не менее 200 мм при металлической стенке или футеровке.

## **21. Детали конструкции подвесочных приспособлений**

**Подвесные крюки.** Подвесной крюк подвесочного приспособления рекомендуется выполнять аналогично изображенному на рис. 25 (см. гл. 3) подвесному крюку для анода, т. е. загнутым по трем сторонам квадрата, с той лишь разницей, что в этом случае нет надобности смещать вертикальный участок стержня крюка с оси, как это сделано для выравнивания центра тяжести подвешенного на нижнем загибе крючке анода по оси верхнего загиба крюка (кстати, при литых неразстворимых анодах с залитым внутрь анода стержнем крюка это смещение также не нужно). Преимущество такого прямоугольного крюка по сравнению с загнутым по дуге круга состоит в том, что контакт со штангой осуществляется не по одной линии или точке, а по двум, что заметно улучшает условия перехода тока. Этот же эффект удвоения места контакта достигается и при загибе крюка под углом  $60^\circ$ , но крюк под углом  $90^\circ$  (см. рис. 25) удобнее при завешивании и обеспечивает более устойчивое положение приспособления, а изготовление его немного сложнее  $60^\circ$ -ного.

**«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 в виде приваренного к верхней части подвешенного крюка небольшого проволочного крючка, 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») (см. рис. 25).

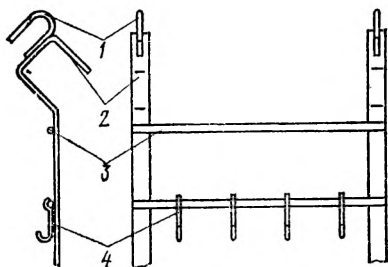


Рис. 36. «Ручки» подвесочного приспособления:

1 — ручка-крючок, приваренная к подвесному крюку; 2 — подвесной крюк; 3 — ручка-переключатель, приваренная между подвесными крюками; 4 — крючки-контакты для подвески деталей

У «рамки» в качестве простой и удобной ручки может служить горизонтальный прут, приваренный к стержням обоих подвесных крюков на таком расстоянии, чтобы он пришелся выше уровня электролита при висащем в ванне подвесочном приспособлении, но

и не слишком близко к крюку, чтобы штанга ванны не мешала взяться за него рукой (рис. 36). Оба типа ручек достаточно удобны, оба (в особенности — прут) практически не нагреваются, но первый тип немного удобнее при завешивании, а второй — при переносе (можно нести подвеску одной рукой). Учитывая чрезвычайную простоту изготовления ручек обоих типов, можно рекомендовать снабжать подвески-рамки ручками обоих типов одновременно.

**Контакты и их крепление.** Контакты подвесочных приспособлений должны не только надежно подводить к деталям ток, но и прочно удерживать их на подвеске, чтобы их не сбросило при газообразовании или перемешивании раствора ванны или от сотрясения при переносе. Контакты не могут быть изолированы, на них неизбежно нарастает металл, затрудняющий переход тока с подвесочного приспособления на деталь. Во многих электролитах стальные контакты становятся хруп-

кими в результате наводороживания и ломаются и, наконец, все контакты из любых металлов вследствие своего выступающего положения очень часто ломаются при неосторожном обращении или нерациональном хранении подвесочных приспособлений. Поэтому контакты должны, с одной стороны, быть прочно закреплены в стержне или в каркасе подвесочного приспособления, с другой — быть легко заменяемы при поломке или износе.

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 надежного электрического контакта вследствие пленок, 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 надежными средствами являются сварка (дуговая или точечная) и пайка твердым или мягким припоем. Впрочем пайка мягким припоем иногда оказывается недостаточно прочной. При обоих способах пайки надо учесть возможность образования гальванической пары припоя с материалом подвесочного приспособления, так как место спая несколько труднее заизолировать, чем ровный участок приспособления.

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 ее кончик на задней стороне каркаса, загнув его в направлении, противоположном направлению силы тяжести детали или натяжения ее пружинящим контактом. Следовательно, загиб должен быть направлен вверх у контактов, крепящих верхний край детали, и вниз — у контактов, крепящих нижний его край (рис. 37). При такой конструкции отрывающее усилие будет значительно ослаблено упором отогну-

того кончика контакта в планку каркаса и упором его проволоочки в стенку около отверстия в каркасе. Облом самой проволоочки контакта на ее свободном участке возможен, но происходит значительно реже, чем в месте сварки (пайки) или рядом с ним.

Заслуживает внимания встречающееся в литературе предложение делать контакт из трех проволочек одинакового диаметра, введенных в одно отверстие, задние концы которых загнуты и приварены или при-

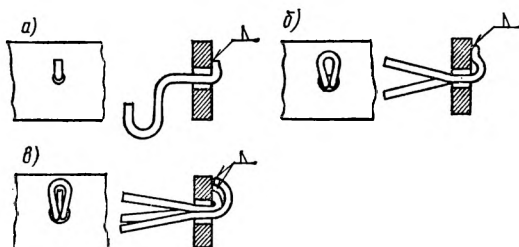


Рис. 37. Способ крепления контакта к планке подвесочного приспособления: а — крепление одиночного контакта; б — крепление двойного контакта; в — крепление тройного контакта

паяны на задней стороне каркаса подвесочного приспособления, как описано выше. 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 своем отверстии детали или по две в одном — это уже зависит от назначения контакта и профиля детали. Суть идеи заключается в том, что три проволочки более плотно и более устойчиво укладываются в отверстия в планке каркаса подвески, чем одна или две. Диаметр  $D$  отверстия в планке каркаса подвески и диаметр  $d$  проволоки контакта связаны зависимостью

$$D = 2,155d \div 2,20d. \quad (22)$$

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 тяжелые, чтобы их не подбрасывало выделяющимися при электролизе газами или при перемешивании электролита, и если сила тока, приходящаяся на деталь, не очень велика. При легких деталях с большой поверхностью надежнее пружинящие контакты, обеспечивающие и хороший подвод тока, и достаточно жесткую 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 еще и многие другие типы пружинящих контактов, примеры которых можно найти в большинстве руководств по гальванотехнике, поэтому подробнее останавливаться на них нет надобности. Стоит только рассказать о применении спиральных пружин для крепления тяжелых или требующих большого тока деталей (например, при декоративном, а иногда и твердом хромировании).

Спиральная пружина из стальной термообработанной проволоки может при небольших габаритах обладать значительно большей силой, чем пружинящие проволочные контактные «усики», но она боится нагрева проходящим по ней током и наводороживания; нагрев вызывает ее отпуск и потерю эластичности, а наводороживание — ее хрупкость и поломку. Поэтому она не должна служить для подвода тока к детали и не должна быть погружена в электролит. Сделать это можно так: низ детали крепится к подвесочному приспособлению жестким крючком, который может служить для подвода тока, но может быть и только опорой.

Верхний крючок, служащий и для натяга детали и для подвода к нему тока, должен быть достаточно длинным, чтобы его загнутый в колечко верхний конец находился в рабочем положении выше уровня электролита. За это колечко зацеплен нижний конец спиральной пружины, верхний конец которой закреплен любым способом в такой точке подвесочного приспособления,

чтобы деталь, растянутая пружиной между ее точкой крепления и нижним опорным крючком, приняла нужное положение на подвеске. Ток подводится к детали коротким гибким (многожильным) медным проводничком, один конец которого припаян к верхнему

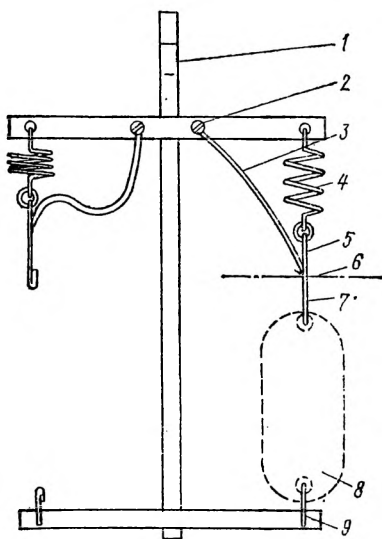


Рис. 38. Способ подвески деталей на спиральной пружине:

1 — подвесной крюк приспособления; 2 — место крепления проводничка 3 к массе приспособления; 3 — гибкий медный проводничок для подвода тока к детали; 4 — спиральная пружина; 5 — место припайки проводничка 3 к крючку 7; 6 — уровень раствора в ванне; 7 — верхний крючок для крепления детали; 8 — деталь; 9 — нижний крючок для крепления детали

натяжному крючку (выше уровня электролита), а другой — поджат винтом к хорошо залуженному месту на приспособлении возможно ближе к его подвесному крюку (или припаян там) (рис. 38).

Место крепления пружины к натяжному крючку или к подвеске желательно изолировать, однако это не всегда необходимо. При равных длине и сечении стальной проволоки пружины и медного проводника через пружину пройдет только  $\frac{1}{8}$  тока, идущего на деталь. Если же проволока пружины будет тоньше и длиннее медного проводничка, то сила тока в пружине будет еще меньше (сила тока на этих участках будет обратно пропорциональна электриче-

скому сопротивлению стальной пружины и медного проводника). Сила тока ( $A$ ), идущего по пружине, будет

$$I_{\text{пр}} = \frac{Si}{7a/b + 1}, \quad (23)$$

где  $S$  — площадь поверхности детали,  $\text{дм}^2$ ;  $i$  — плотность тока на детали,  $\text{А/дм}^2$ ;  $a$  — отношение площади сечения медного проводника к площади сечения проволоки, из которой свита пружина (при подсчете отно-

шения  $a$  брать обе величины в одинаковых мерах,  $\text{мм}^2$ );  $b$  — отношение длины медного проводника к длине проволоки, из которой свита пружина (при подсчете отношений брать обе величины в одинаковых мерах, например, мм).

Цифрой «7» в формуле обозначено отношение удельных сопротивлений углеродистой стали и меди (для легированных сталей эта величина будет несколько большей, а сила тока в пружине — меньшей).

Если сила тока, идущего через пружину, подсчитанная по уравнению (23), окажется не более  $0,5 \text{ А/мм}^2$  сечения проволоки пружины, то электрическая изоляция пружины от подвески необязательна.

**Материалы для изготовления подвесочных приспособлений.** Для анодных процессов хороши подвесочные приспособления из титана; они пригодны практически почти для всех операций анодной обработки, за исключением редко применяемых электролитов с большим содержанием фтор-иона. Для некоторых анодных процессов (анодное окисление и электрохимическое полирование алюминия) годятся подвесочные приспособления из алюминия, а лучше — из дюралюминия, поскольку контакты из чистого алюминия не жестки и неупруги.

Изготавливать подвесочные приспособления для катодных процессов из меди или латуни редко имеет смысл, разве что при очень больших токовых нагрузках, а собирать их приходится на пайке мягким или твердым припоем, что сравнительно трудоемко.

Наиболее удобным, экономичным и простым для изготовления материалом подвесочных приспособлений для катодных процессов является железо (малоуглеродистая сталь). Этот металл легко сваривается любым способом, вполне стоек в щелочных и хромовокислых растворах, легко может быть защищен от коррозионного действия кислых электролитов гальваническим покрытием никелем или тем металлом, для покрытия которым предназначено приспособление, тем более, что большую часть поверхности (кроме контактов) все равно следует покрыть изоляцией для экономии тока. Оголенное 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 этой коррозией повышение переходного сопротивления контактов легко устраняется предварительным покрытием всего подвесочного приспособления и, в первую очередь, его подвесных крюков каким-нибудь гальванически осажденным подходящим металлом, лучше всего никелем или оловом. Для защиты контактов более чем достаточно того слоя металла, который осаждается на них при эксплуатации подвески (периодически его необходимо даже стравливать, так как его многослойные наросты обладают плохой электропроводностью). Не следует снимать эти наросты механическими способами — это трудоемко и ведет к повреждению подвески.

**Электрический расчет подвесочных приспособлений.** Для расчета допустимой электрической нагрузки током на поперечное сечение деталей подвески, находящихся выше уровня раствора, можно принять следующие ориентировочные величины: для меди — 6—8 А/мм<sup>2</sup>; для алюминия — 4—4,5 А/мм<sup>2</sup>; для латуни — 3 А/мм<sup>2</sup>; для малоуглеродистой стали — 2 А/мм<sup>2</sup>; для титана — 1 А/мм<sup>2</sup>; для коррозионно-стойкой стали (в зависимости от ее состава) — 0,5—0,6 А/мм<sup>2</sup>.

Цифры эти очень приближенны и могут существенно меняться как в меньшую, так и в большую сторону в зависимости от условий работы подвески, в частности профиля ее сечения, от которого зависит интенсивность охлаждения приспособления окружающим воздухом (наиболее выгодна нетолстая, но широкая полоска), температуры ванны, интенсивности ее вентиляции и т. п. Ниже уровня электролита допустимая электрическая нагрузка может быть в три-четыре раза выше, чем для непогруженных в электролит участков.

Грубая ошибка в расчете сечения подвесочного приспособления маловероятна. Неизмеримо чаще приходится гальванику сталкиваться с затруднениями от перегрузки подвесного крюка приспособления, который в ваннах, работающих при большой плотности тока, например в хромировочных, часто раскаляется до красного каления. Сопротивление нагретшегося металла увеличивается, а вследствие этого увеличивается и его дальнейший нагрев, иногда вплоть до сгорания. В таких случаях подвесной крюк обычно охлаждают струей воды, что снижает сопротивление контакта и позволяет (часто на продолжительный срок) прекратить его разогрев. Правильным решением задачи будет снятие фаски на внутренней поверхности крюка (в месте его контакта со штангой), если крюк выполнен из круглого прутка, или подклейка к нему медной полоски, более широкой, чем щечка крюка, или вообще замена крюка на более широкий.

Контакт плоской щетки крюка с цилиндрической поверхностью штанги осуществляется отнюдь не по геометрической, нематериальной линии касания, как в абстрактных геометрических фигурах, а по некоторой полоске, образовавшейся на штанге вследствие смятия металла штанги (и крюка) — абсолютно жестких несминаемых металлов нет. Эта полоска имеет вполне ощутимую ширину. Так, например, на латунной штанге диаметром 20 мм, на которой висит приспособление весом 10 кг с двумя стальными крюками с шириной щетки по 5 мм, ширина полоски смятия на штанге составляет около 0,3 мм. Однако, хотя давление, вызвавшее такое смятие латуни, и значительно (в данном примере — около 10 800 кПа, т. е. 1080 атм), оно все же существенно меньше предела упругости латуни, составляющего около 58 800 кПа (5880 атм). Поэтому, как только мы снимем подвеску со штанги, штанга в месте смятия выпрямится до своего первоначального размера, не оставив никакого следа. Существует формула Герца, позволяющая хотя и приближенно, но с достаточной точностью подсчитать ширину этой полоски смятия.

Однако для дальнейшего расчета размеров крюка, могущего пропустить нужную силу тока, надо знать допустимую токовую нагрузку на единицу площади полоски касания при данном давлении крюка подвесочного приспособления на штангу ванны.

Ни в гальванотехнической, ни в электротехнической литературе не удалось найти таких нормативов для условий аналогичных контакту крюка подвесочного приспособления со штангой. Нормативы для контактов реле и для болтового соединения шин очень резко отличаются по принятым условиям от интересующих гальваника. Правда, в периодической гальванотехнической литературе удалось найти норматив для одного частного случая контакта подвесочного приспособления, но он вызывает некоторые сомнения. Поэтому практически приходится пользоваться старым эмпирическим способом — если крюк сильно нагревается, надо сделать его шире.

**Расположение деталей на подвесочном приспособлении.** Детали должны быть расположены и закреплены на подвеске так, чтобы они были в возможно более выгодном положении по отношению к аноду и не могли отклониться от этого положения при случайном толчке или движении раствора. Для этого в большинстве случаев достаточно выбрать подходящее место крепления детали на двух контактных крючках в удаленных друг от друга точках, или на одном, но широком крючке. Все острия и резкие выступы должны быть направлены вверх или в сторону промежутка между двумя висящими перед подвеской анодами. Такие склонные к подгару места могут быть защищены соседней деталью или близко расположенным неизолированным участком каркаса приспособления, которые будут отвлекать на себя часть тока, идущего к защищаемым местам детали.

В тех случаях, когда все эти средства оказываются недостаточными или неприменимыми, прибегают к специальным защитным приспособлениям, описанным в п. 22.

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 детали придать невозможно, то приходится ее периодически переворачивать. Для этого закрепляют деталь на шарнире подвесочного приспособления, который позволяет при помощи выступающей из раствора рукоятки наклонять деталь в нужную сторону на требующийся угол, не касаясь ее руками и не прерывая процесса покрытия. Шарнир может быть весьма примитивным — штыри поворотной части подвесочного приспособления, поворачивающиеся в отверстиях ее неподвижной части. При слабом токе он может пройти от неподвижной части подвески к подвижной через шарниры, при сильном токе подвижную часть нужно соединить с неподвижной гибким медным проводником.

Следует принять меры против осаждения шлама, приводящего к шероховатости покрытия. Шлам может попадать на детали двумя различными путями. Он может взмучиваться со дна ванны и оседать под действием силы тяжести в углублениях и на больших верхних горизонтальных участках детали, где перемешивание менее интенсивно. В этом случае могут помочь соответствующая ориентация деталей на подвеске и, конечно, чехлы на анодах и непрерывное фильтрование. Другой путь осаждения шлама на деталь встречается значительно реже, но и бороться с ним труднее — это перенос шлама с анода на деталь за счет катафореза<sup>1</sup>. Такой шлам садится на деталь преимущественно в местах повышенной плотности тока — на выступах и остриях. Наблюдается это чаще всего в хромировочной ванне. Меры борьбы — снижение общей или местной плотности тока, например, с помощью экранов.

---

<sup>1</sup> Катафорез — перенос током неионизированных частиц, получивших электрический заряд за счет адсорбции поверхностью частицы ионов, преимущественно одного какого-нибудь знака, придающих ей электрический заряд.

Следует принять меры, чтобы детали на подвеске не экранировали друг друга. Это особенно легко может произойти при завеске их в два ряда на одной горизонтали подвеске (завеска в двух плоскостях). Надо расположить детали в обоих этих рядах в шахматном порядке, чтобы деталь одного ряда пришлась в основном против зазора между деталями в противоположном ряду и чтобы зазор между рядами был возможно больше. Такой способ завески терпим, если габариты деталей невелики по сравнению с зазорами между ними (например, при изделиях из прутка) или если требования, предъявляемые к покрытию оборотной стороны детали, значительно ниже, чем к лицевой стороне. В большинстве случаев предпочтительна завеска в одной плоскости.

## 22. Защитные приспособления

**Непроводящие экраны.** Назначение всякого экрана состоит в том, чтобы затруднить доступ тока к определенным участкам детали и тем самым снизить плотность тока на них во избежание подгара и других дефектов покрытия или его излишней толщины.

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

Зазор между экраном и деталью выбирают на основании пробных покрытий. Экран, как правило, крепят на подвеске с деталями или на самой детали и притом достаточно жестко, чтобы он не мог случайно сдвинуться.

**Проводящие экраны.** Этот тип экранов применяется в основном для защиты края детали от подгара. Это достигается тем, что плотно прилегающий к краю детали металлический экран служит как бы временным продолжением детали, образуя конечное ребро этой

поверхности, на котором и получается такой подгар, который иначе оказался бы на истинном ребре детали.

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, служащих за-

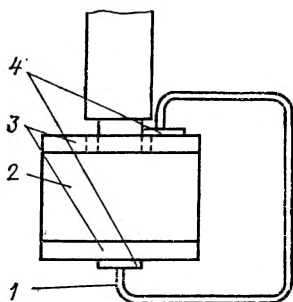


Рис. 39. Крепление проводящих экранов для защиты торцовых ребер детали от подгара:

1 — скоба из стальной проволоки; 2 — деталь; 3 — проводящие экраны; 4 — изолирующие прокладки под концами скобы

щитными экранами для верхнего и нижнего годных колец. Однако наиболее подходящим для этой цели является рольный свинец: он легко режется по требуемому профилю и размеру, его можно легко подровнять обыкновенным ножом и подколлотить молотком для плотного прилегания, в результате чего экран становится геометрическим и электрическим продолжением детали. Крепить такой экран очень удобно П-образной скобой из стальной или сталистой проволоки; сходство с буквой «П» увеличивается еще тем, что кончики ножек скобы нужно немного загнуть внутрь.

Экранирующие шайбы зажимают между концами скобы. Для того чтобы скоба не являлась катодом, между концами скобы и шайбами кладут по кусочку изоляционного материала, а высоту ножек скобы принимают такой, чтобы перекладина ее отстояла от детали на 50—70 мм. Для хромировочной ванны этих мер достаточно, а для большинства других электролитов лучше перекладину заизолировать лаком или липкой лентой (рис. 39). На рис. 39 в качестве примера изображен калибр-пробка, у которого покрывается только цилиндрический участок рабочей поверхности. В этом и аналогичных случаях верхний конец скобы для лучшего прижима верхнего экрана может быть выполнен в виде кольца или полукольца, свободно охватывающего ручку калибра, но такое усложнение

требуется только для очень больших экранов. Конечно, при работе на групповом подвесочном приспособлении экраны могут составлять часть приспособления и быть прикреплены к нему электропроводящим соединением или через изолятор в зависимости от назначения экрана.

**Защитные катоды.** Для защиты ребер разного профиля, острых выступов и тому подобных элементов поверхности деталей, особенно подверженных опасности подгара, очень удобны проволоочные экраны. Эти экраны представляют собой тонкую (диаметром 0,1—1 мм) проволоку из любого подходящего металла (медь, сталь), согнутую по профилю того ребра, которое экран должен защитить, и расположенную вдоль ребра на очень близком от него расстоянии — от 1 до 5 мм. Проволочка защитного катода соединена такой же проволочкой с удобным местом детали или подвески для подвода к защитному катоду катодного напряжения. Эта же проволочка служит и для крепления всей конструкции в более или менее правильном положении относительно защищаемого участка (особой точности монтажа не требуется). Если нужно, для некоторого увеличения жесткости конструкции делают не одну, а несколько подводящих ток проволочек, но эти дополнительные проволочки нужны только для механической поддержки защитного катода; величина потребляемого им тока ничтожно мала. Для защиты острия на детали проволочку защитного катода просто загибают в сторону острия так, чтобы между ее кончиком и острием остался нужный зазор.

Чем меньше диаметр проволоки защитного катода и чем ближе он расположен к защищаемому элементу профиля изделия, тем сильнее его защитное действие. Проволоки, подводящие к защитному катоду ток, желательно заизолировать, хотя в хромировочной ванне, например, в этом нет необходимости, их достаточно просто отогнуть подальше от детали на 20—30 мм.

**Дополнительные (вспомогательные) аноды.** Эти аноды применяются в тех случаях, когда ток от основного анода доходит до какого-нибудь углубления или полости детали сильно ослабленным, так что потенциал в этом месте профиля оказывается недостаточным для образования покрытия.

В связи с тем, что вспомогательный анод располагается гораздо ближе к детали, чем основной, точность его ориентации по отношению к участку, для улучшения покрытия которого он предназначен, значительно важнее, чем положение основного анода. Поэтому во избежание сдвига вспомогательного анода под действием газовыделения, перемешивания или случайного толчка предпочтительно жестко монтировать его на подвеске детали, иногда даже на самой детали, применяя в обоих случаях надежную изоляцию анода и его крепления и подводя к нему ток гибким проводом от анодной штанги.

Иногда удобно использовать в качестве вспомогательных анодов биполярные электроды. В этом случае в качестве вспомогательного анода применяют кусок анодного металла (растворимого или нерастворимого), изолированно закрепленного на подвеске и не имеющего подвода тока от анодной штанги, направленного одним концом в сторону основного анода, а другим в сторону углубления детали, требующего усиления покрытия. Ток будет проходить от основного анода к заднему концу вспомогательного, по массе вспомогательного и далее с его переднего конца — ко дну углубления на детали. Длину вспомогательного анода (биполярного электрода) желательно выбрать такой, чтобы длина пути тока по электролиту была приблизительно одинакова от основного анода как до наружной поверхности детали по обычному пути, так и до дна углубления через биполярный электрод (длиной пути тока вдоль биполярного электрода можно пренебречь, так как электрическое сопротивление всякого металла в тысячи раз меньше сопротивления гальванических электролитов). Никакой особой точности при этом расчете не требуется.

Боковую поверхность вспомогательного электрода, кроме переднего и заднего торцов, желательно заизолировать во избежание излишнего перехода тока на близлежащие участки наружной поверхности изделия.

### **23. Некоторые специальные конструкции подвесочных приспособлений**

**Приспособление для одновременного покрытия внутренних и наружных поверхностей.** Несмотря на то, что описанные ниже экспериментальные подвески были

изготовлены в весьма небольшом количестве и проверялись недолго и на немногих деталях, результаты были настолько надежны и производительны, что стоит рассказать о них. Речь идет о подвесочном приспособлении, на котором можно было бы одновременно хромировать (и при том — даже толстым слоем, не говоря уже о декоративном покрытии) наружную поверхность детали с помощью обычных наружных анодов и одновременно внутреннюю ее полость — с помощью вспомогательного анода. Затруднение при одновременном хромировании на обычном приспособлении состоит в том, что при подводе к наружному и внутреннему анодам одинакового напряжения с анодной штанги, плотности тока на наружной и внутренней поверхностях детали будут существенно различаться, в первую очередь, за счет большей длины пути тока по электролиту от далекого наружного и от близкого внутреннего анодов, и, во вторую очередь, за счет разной интенсивности перемешивания, а как следствие, и разной концентрации и температуры электролита. Исходя из этого было изготовлено подвесочное приспособление, на котором имелись отдельные клеммы для крепления вспомогательного анода и проводника, соединявшегося с анодной штангой. Обе клеммы были изолированы от катодной части приспособления и соединялись между собой короткой нихромовой проволокой или лентой. Длина проволоки была подобрана так, чтобы при измерении вольтметром разницы напряжений между наружным анодом и деталью, а также между вспомогательным анодом и деталью при рабочей токовой нагрузке подвески эти напряжения были бы по возможности близки друг к другу.

Длина нихромовой проволоочки практически оказалась очень небольшой, так что ее монтаж на подвеске не представлял никаких затруднений. Подбор длины проволоочки, очевидно, не требует большой точности, ибо пробные хромирования дали весьма приличные результаты.

**Универсальное приспособление для покрытия внутренних поверхностей.** В результате длительной эксплуатации хорошо себя зарекомендовало следующее простое приспособление для хромирования отверстий и внутренних поверхностей в самых различных дета-

лях. Оно состоит из двух рамок, сваренных из угловой стали (практика показала, что рамки из полосового материала гнутся при монтаже деталей), между которыми зажимается деталь при помощи стягивающих рамки двух шпилек диаметром не менее 15—18 мм, пропущенных через торцовые угольники рамок. Недалеко от

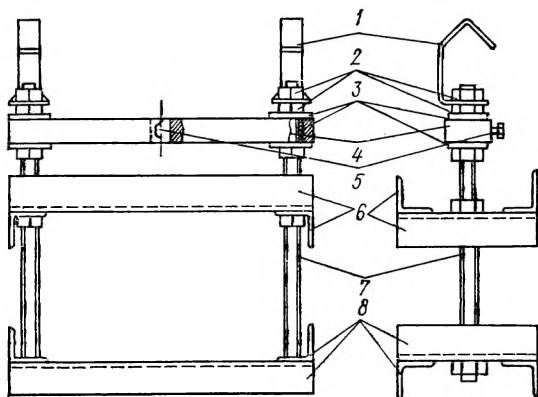


Рис. 40. Универсальное приспособление для покрытия внутренних полостей.

1 — подвесной крюк; 2 — гайки; 3 — втулка и шайба для изоляции анодного бруска 4 от катодных частей приспособления; 4 — анодный брусок с отверстием для крепления хвостовика анода; 5 — винт, крепящий хвостовик анода в отверстии бруска 4; 6 — верхняя прижимная рамка; 7 — шпилька; 8 — нижняя прижимная рамка

верхнего конца шпилек на них надет анодный брусок, изолированный от шпилек винипластовыми втулками и от крепящих его гаек — такими же шайбами. В анодном бруске имеется центральное отверстие с зажимным болтом для крепления анода (иногда таких отверстий делается еще одно или два, чтобы можно было закрепить в них аноды для покрытия в деталях отверстий, смещенных от центра), и болт или отверстие с зажимным болтом для крепления гибкого проводника, идущего к анодной штанге. Выше анодного бруска на верхних концах шпилек закреплены гайками подвесные крюки для завешивания приспособления на катодную штангу (рис. 40). При висящем в ванне приспособлении

соблении анодный брусок должен быть выше уровня электролита.

Сборку приспособления с деталью лучше всего вести следующим способом. Приспособление с закрепленными, каждый между двумя гайками, подвесными крюками, анодным бруском и верхней рамкой, зажимают в тиски (за анодный брусок) нижними концами шпилек вверх, затем кладут на верхнюю рамку (на ее фактически нижнюю поверхность) деталь, центрируя ее по аноду, заранее вставленному в предназначенное для него в анодном бруске отверстие. После этого надевают на шпильки нижнюю рамку и сильно притягивают ее гайками (только с нижней стороны приспособления), следя за надежным зажимом детали между рамками и за ее правильной центровкой по отношению к аноду. Если отверстие не совпадает с центром тяжести детали, то следует расположить деталь так, чтобы она своей несимметричностью не вызывала перекося приспособления при его завешивании в ванну. Деталь должна быть зажата между горизонтальными полками уголков рамки, а не между ее вертикальными ребрами.

При хромировании внутренних поверхностей деталей в таком приспособлении происходит некоторая утечка тока на наружную поверхность детали и на погруженные в электролит части приспособления. Однако в хромировочной ванне эта утечка невелика, порядка 20—25 % (эту величину надо добавить к расчетной силе тока), и осаждения хрома там не происходит. При использовании приспособления такого типа в других ваннах с лучшей рассеивающей способностью, чем у хромовой, вероятно, придется наружную поверхность детали, а возможно, и подвеску изолировать, во всяком случае, защитить резиновыми трубками резьбу шпилек от осаждения на ней металла покрытия.

При работе с этим приспособлением надо вынуть из ванны обычные внешние аноды, оставив только внутренний анод в приспособлении. Покрывать в нем одновременно наружную и внутреннюю поверхности (по способу, изложенному в п. 22) неудобно — подвеска будет сильно экранировать наружную поверхность детали.

**Способ завешивания плоских пластинок.** При необходимости завешивания в ванну плоской пластинки, не

имеющей отверстия, приходится обвязывать пластинку проволокой по периметру. Задача состоит в том, чтобы проволока плотно прилегала по всему периметру пластинки, в противном случае, в местах плохого прилегания может после покрытия остаться след не только в такой плохо рассеивающей ванне как хромовая, но даже и в никелевой.

Для того чтобы это крепление выполнить просто и удобно, не опасаясь соскакивания проволоки с ребра (периметра) пластинки, надо положить пластинку на поверхность верстака и покрыть ее сверху каким-нибудь тяжелым предметом с ровной нижней поверхностью. Ширина и длина предмета, прижимающего деталь, должны быть больше, чем у пластинки. Затем можно обернуть проволокой пластинку по периметру, от руки скрутить концы проволоки на 1—2 об. ближе к пластинке (но нет надобности скручивать туго). Теперь, придерживая рукой верхний предмет, надо захватить плоскогубцами концы проволоки снаружи первоначальной скрутки и туго закрутить скрутку, все время несколько оттягивая ее в сторону от пластинки. Поверхность верстака и выступающие края верхнего предмета не дают проволоке соскользнуть с периметра и ее плотный контакт с пластинкой достигается просто и быстро. Скручивание может быть в любом месте профиля пластинки, легче — на углу, но достаточно хорошо натягивается проволока и при скручивании на ровной стороне или на окружности.

## 24. Эксплуатация подвесочных приспособлений

В гальванотехнической литературе в основном рекомендуется осуществлять изоляцию подвесочных приспособлений синтетическими лаками. Хорошие результаты дает применение лака ОНИЛХ-3 (ТУ МХП 1250—48). Это раствор перхлорвиниловой смолы в смеси хлорбензола и дихлорэтана с добавкой хлорпарафина в качестве пластификатора. Лак хорошо держится на металле и в то же время легко отстает от него, если поддеть его пленку с края ножом. Лак устойчив в хромовом электролите, не говоря уже о более холодных и менее агрессивных электролитах.

Содранную с детали пленку, а также пролитый и подсохший лак (если он был пролит на достаточно чистую поверхность) можно растворить в ацетоне или в указанных выше растворителях и использовать два или даже три раза. Лак высыхает довольно быстро при комнатной температуре. Пленка лака, хотя толстая и эластичная, но механически прочная.

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

Хорошим решением является крепление на стене на небольшом расстоянии от нее прутков типа шторных багетов или вешалок для полотенец, укрепленных один под другим на расстоянии высоты подвески. На эти прутки подвески завешиваются с помощью подвесных крюков. Под такие вешалки могут быть использованы все свободные участки стен цеха или специальной кладовой по всей высоте помещения (при пользовании лестницей). Экономнее используется место, если установить перпендикулярно к стене стальные рамы с приваренными к ним в плоскости рамы прутками. Расстояние между рамами и ширина рам (длина прутков) выбираются такими, чтобы можно было добраться рукой до любой нужной подвески, снять ее или повесить.

Удобнее (особенно в высоких помещениях), но сложнее в изготовлении стеллажи по типу нории. Под потолком установлены две звездочки на расстоянии между ними, несколько большем ширины подвесочного приспособления. Такие же две звездочки установлены над полом на высоте, чуть большей высоты подвесочного приспособления. Через обе левые (верхнюю и нижнюю) и соответственно через обе правые звездочки перекинуты цепи (велосипедные или мотоциклетные). Между цепями к их звеньям с интервалами по высоте, несколько большей высоты подвески, приварены горизонтальные прутки, на которые вешают подвесочные

приспособления. Звездочки (особенно верхние) вращаются на коротких полуосях, не выходящих в промежуток между левой и правой звездочками, что позволяет передвинуть подвесочные приспособления с лицевой стороны нории на ее заднюю сторону и обратно. Нижние звездочки могут находиться на общей оси, снабженной ручкой для вращения всей системы (для подвода нужного приспособления к месту его снятия) и простейшим тормозом или стопором.

## **Глава 6. ВЕНТИЛЯЦИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЦЕХОВ**

Существуют общеобязательные нормы предельно допустимых концентраций вредных веществ в воздухе рабочих помещений (ПДК). Эти нормы включают довольно много веществ, выделяющихся при гальванических работах (брызги и пыль химикатов, пыль абразивов, пары растворителей и т. п.). Для того чтобы их концентрация не превысила допустимого предела, применяются разные меры. Наиболее распространенной и наиболее действенной из них является оборудование цеха приточно-вытяжной вентиляцией, назначение которой состоит в том, чтобы за счет обмена воздуха, т. е. отсоса загрязненного и подачи свежего, поддерживать содержание вредных веществ в воздухе помещения на уровне, не превышающем норм ПДК.

Обмен воздуха может происходить за счет разницы его температур внутри и снаружи помещения, через открытые окна, случайные щели, даже через стены при их относительно пористом материале, но эта так называемая естественная вентиляция мало производительна, а по направлению и скорости движения воздуха плохо поддается управлению. Значительно более эффективна принудительная вентиляция, при которой воздух отсасывается или подается вентилятором с силовым приводом. Принудительная вентиляция позволяет отсасывать воздух с нужной интенсивностью непосредственно из мест вредных выделений и подавать свежий воздух, рационально распределяя его по помещению. Достигается это выполнением всех элементов

вентиляционной системы в точном соответствии с проектом и расчетом, составленными квалифицированными специалистами с учетом не только вредных выделений химикатов, но и тоже вредных (при большом количестве) выделений теплоты и влажности.

## 25. Принципы расчета вентиляционных систем

Воздух, несмотря на свою, привычную нам, подвижность, обладает определенной массой, а следовательно, и инерцией. Поэтому при движении по трубам или каналам вентиляционной системы, при входе его и при выходе из труб, при проходе через трубопроводы и их различные элементы (колена, разветвления, сужения, расширения и т. п.) воздух испытывает значительные сопротивления, тем большие, чем выше его скорость. Для того чтобы требуемый объем воздуха проходил с нужной скоростью через трубопровод, необходимо создать некоторый напор за счет работы вентилятора (при принудительной вентиляции) или за счет разницы температур. По мере движения воздуха по вентиляционной системе этот напор снижается за счет затраты его энергии на преодоление сопротивлений на различных участках системы.

Задача проектировщика заключается не только в расчете этого напора, но и в такой компоновке сопротивлений отдельных ветвей трубопровода, чтобы в каждом месте стыка ветвей трубопровода величина напора во всех стыкующихся в этой точке ветвях при заданных объемах и скоростях была бы совершенно одинаковой. Если же это требование не будет соблюдено или будет нарушено за счет каких-нибудь переделок системы, то равенство напоров установится само собой, но уже при другом его значении и за счет изменения объемов и скоростей воздуха, проходящего через состыкованные ветви. Эти объемы и скорости уже не будут соответствовать расчетным, и вентиляция будет работать в случайном режиме, а не в том, который требуется для надлежащей очистки воздуха.

Вся приточно-вытяжная вентиляционная система данного помещения, а часто и сообщающихся с ним соседних помещений, представляет собой единое целое, в котором все движения воздуха в трубопроводах и

в самом помещении связаны между собой. Поэтому, какое-либо нарушение предусмотренной проектом взаимозависимости путем, например, переделки каких-нибудь элементов воздуховода или, что гораздо хуже и абсолютно недопустимо, присоединением дополнительных потребителей, не подкрепленное расчетом и соответствующими конструктивными мероприятиями, может катастрофически сказаться на вентиляции всего помещения.

Изготовление и переделки вентиляции должны поручаться только квалифицированным специалистам, так как исправность вентиляции — это вопрос здоровья и даже жизни работающих в гальваническом цехе.

## 26. Местные отсосы у оборудования

Конструкция местного отсоса сказывается не только на эффективности работы вентиляции, но и на удобстве работы гальваника, а следовательно, и на его производительности. В связи с этим представляется рациональным, чтобы специалист по вентиляции при проектировании и выборе типа отсоса прислушался к мнению гальваника.

В связи с этим остановимся на отсосах, применяемых в гальванических цехах. Это — вытяжной шкаф, внутри которого устанавливается оборудование; вытяжной колпак (зонт), устанавливаемый над оборудованием; отсасывающая решетка (например панель Чернобережского), устанавливаемая сбоку от оборудования с его нерабочей стороны; бортовой отсос, располагаемый на уровне верхнего края оборудования. Характеристика отсасывающих устройств приведена в табл. 8.

Принцип работы наиболее универсального для гальванического оборудования 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 капли и этим заставляет их главную массу упасть обратно в ванну, а остальные капли и газы увлекаются в отсос.

**Таблица 8. Характеристика отсасывающих устройств, применяемых в гальванических цехах**

Тип	Достоинства	Недостатки	Области применения
Вытяжной шкаф	Хорошо изолирует помещения от вредных выделений из оборудования, стоящего внутри шкафа	Затрудненность 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 отсасываемых вредных веществ. Расход воздуха очень велик, так как трудно избежать непроизводительного подсосывания воздуха с боков	При работе в наливных колоколах с газовыделяющими щелочными электролитами или при очистке колоколов от наростов травлением в кислотах
Панель Чернобережского	Мало мешает работе, особенно если оборудование стоит у стены и панель не мешает проходу. Хорошо улавливает выделения легких газов, например водяного пара	Требуется значительного расхода воздуха. Неудобен ее 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 тяжелые газы и в большинстве случаев легкие 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

Эта работа «факела» особенно хорошо наблюдается над хромировочной ванной, брызги которой ярко окрашены и их путь легко проследить.

При правильной конструкции отсоса вызываемое им увеличение ширины ванны невелико. Нормальный бортовой отсос выступает от края ванны в сторону рабочего на 50—100 мм. Дальнейшее увеличение размера вертикального участка отсоса при его переходе к круглому воздуховоду делается в сторону стенки оборудования, ниже обвязки на его борте и, следовательно, на ширине оборудования дополнительно не сказывается. Сам же круглый воздуховод расположен так низко, что практически уже не мешает доступу к ванне.

Бортовые отсосы получили наибольшее распространение в гальванике, они удобны, эффективны и экономичны.

«Факел» бортового отсоса быстро ослабевает с удалением отсоса от заборной щели, поэтому односторонний отсос делают только при ширине ванны не свыше 600 мм. На более широких ваннах делают отсосы с двух противоположных сторон. Не следует в погоне за «улучшением» вентиляции делать отсосы с трех или четырех 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.

Щель бортового отсоса обязательно должна быть расположена вплотную над краем оборудования 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.

Для облегчения работы бортовых отсосов (уменьшения нормы отсоса воздуха) иногда применяют откидные крышки на ваннах, что впрочем затрудняет обслуживание ванн, особенно при частых загрузках, и очень эффективно работающие и удобные поплавки.

Одно время для гальванических ванн широко рекомендовали опрокинутые бортовые отсосы, заборное отверстие которых расположено горизонтально

почти над самым уровнем электролита, на конце перегнутого через край ванны рукава отсоса.

Согласно чертежам, приведенным в нормали МН2-58, воздуховод отсоса толщиной 100 мм (по наружному обмеру) перегибается через верхний край ванны и через ее обвязку и опускается внутрь ванны до уровня электролита, сохраняя ту же толщину. Следовательно, во-первых, отсосы занимают внутри ванны по 100 мм ширины зеркала ванны с каждой стороны, что заставляет уменьшить межэлектродные расстояния или непроизводительно увеличить ширину и емкость ванны, а, во-вторых, увеличивают на 150 мм (сверх обычного отсоса) то расстояние, на которое приходится тянуться рабочему до висящих в ванне деталей и анодов. С точки зрения гальваника это очень существенный недостаток конструкции. Опрокинутые отсосы в настоящее время выходят из употребления.

## **Глава 7. ШЛИФОВАНИЕ, ПОЛИРОВАНИЕ И ГЛЯНЦЕВАНИЕ**

### **27. Шлифование**

Как известно, шлифование в основном осуществляется войлочными кругами, на поверхность которых нанесены и закреплены при помощи связки зерна какого-либо абразивного материала. Операция ведется обязательно в несколько переходов: сначала — кругами, накатанными более крупными зёрнами, затем — все более и более мелкими.

При обработке детали кругом крупной зернистости сдираются крупные неровности, но неизбежно остаются риски от зерен этого абразивного материала, расположенные параллельно друг другу в направлении относительного движения круга и детали. Чтобы вывести эти риски, нужно следующим переходом обработать деталь кругом более мелкой зернистости. Однако этот круг, выведя риски предыдущего крупного зерна, неизбежно оставит свои риски, которые нужно будет вывести, в свою очередь, еще более мелкозернистым шлифовальным кругом и так далее, до тех пор, пока не

останутся настолько мелкие риски, что их можно будет загладить полировкой.

Операция значительно ускоряется, если при каждом следующем переходе направление обработки, а следовательно, и риск будет под углом  $60\text{--}90^\circ$  к предыдущему. При шлифовании длинных цилиндрических деталей малого диаметра такой большой угол выдержать трудно, но хотя бы меньший угол ( $20\text{--}30^\circ$ ) выдержать нужно, иначе работа затруднится и замедлится. Часто оказывается далеко не безразличным для внешнего вида окончательно полированной детали, в каком направлении был сделан последний переход при шлифовальной обработке; для плоских продолговатых деталей — это в большинстве случаев направление вдоль более длинной стороны, для цилиндрических поверхностей — по окружности.

Опытный шлифовщик, стремясь к улучшению декоративного вида своей детали, заранее зная число переходов, которое он сделает, выбирает направление первого перехода так, чтобы последний переход пришелся в нужном направлении. При сложном профиле и высоких требованиях к декоративности детали допускается пробное шлифование.

**Выбор размеров шлифовальных зерен (зернистости) для последовательных переходов.** Чтобы легче и быстрее вывести риску от предыдущего крупнозернистого круга, нужно чтобы зерно следующего перехода было немного мельче предыдущего, чтобы дно риски от предыдущего перехода дошло до уровня дна риски от предыдущего и после каждого следующего перехода на детали не оставалось невыведенных рисков от предыдущего, которые потом вывести уже почти невозможно.

Нет надобности проводить шлифование с прижимом. Конечно, шлифовщик может затормозить прижимом детали на круг приводящий его во вращение мотор мощностью в  $3\text{--}3,5$  кВт, но этого не следует делать.

Благодаря быстроходным шлифовальным станкам и синтетическим абразивным материалам риски от предыдущего перехода можно вывести без применения человеком больших усилий. Однако приложить усилие нужно для того, чтобы вращающийся круг не вырвал деталь из рук или не увел ее в сторону, не исказил «рисунок» шлифования, но это усилие значительно

меньше того, которое неопытный шлифовщик вынужден применить для резания в попытке силой заменить знание.

Это знание включает очень немногие и несложные приемы и правила работы. Первое правило — это перемена направления шлифования от одного перехода к следующему, второе — работа с большим числом переходов, но с малым различием размеров шлифовальных зерен в соседних переходах. Например, для стальных точеных или штампованных холодным способом деталей применяют пять переходов с зернистостью примерно 10; 8—6; 5; 4—3; 3 с засаливанием или M28 — для кованных или литых стальных изделий и до семи переходов (начиная с 12) и только для таких мягких металлов как алюминий или цинковый литейный сплав применяется менее пяти переходов. Как это ни парадоксально на первый взгляд, но отшлифовать сталь за пять переходов легче и быстрее, чем за три, потому что каждый переход требует меньше сил и времени. Конечно, не следует менять круг после каждого перехода. Надо обработать сначала все изделия партии на круге одной зернистости, пока круг не сносится, и только тогда менять его и обрабатывать всю партию кругом другой зернистости.

**Острота и долговечность накатного круга.** Накатной шлифовальный круг — это режущий инструмент, а всякий режущий инструмент, естественно, должен быть острым. Шлифовальный порошок состоит из мелких кристалликов с острыми ребрами и углами. На поверхности круга они удерживаются связкой — столлярным клеем (мездровым или костным).

Слой клея эластичен. Кончики кристалликов выступают из клея и режут. Когда режущая кромка зерна затупится, возросшее от этого трение о деталь заставит зерно поворачиваться, пока не вылезет из клея его острое ребро, а если такого уже не окажется, то зерно выдирается из клея и на его месте обнажается другое. Этот процесс называется самозатачиванием. Когда запас шлифовальных зерен уменьшится, круг начнет резать все хуже и хуже, шлифовщик увеличивает прижим детали к кругу, в результате чего круг сильно нагревается, слой клея растрескивается и отскакивает от него. Работа на таком тупом круге очень утом-

мительна и непроизводительна. Круг нужно своевременно заменить новым.

Кроме того, при работе на тупом круге и при сильном прижиге к нему детали на ней происходят структурные изменения поверхности металла в результате сильного местного перегрева. Эти прижоги могут вызвать образование микротрещин, в которые при покрытии проникает электролит, остающийся под покрытием и вызывающий впоследствии его пузырение и отслаивание. Этот местный перегрев часто вызывает еще и коробление тонкостенных деталей.

Долговечность накатанного круга, т. е. продолжительность его работы от накатки до затупления, зависит, в первую очередь, от качества слоя связующего клея. Качество клеевого слоя зависит не только от качества самого сухого клея, но главным образом от способа его варки, хранения и применения. Клей при небольшом перегреве творачивается и теряет свою эластичность, при попадании в него гнилостных бактерий чрезвычайно легко и быстро загнивает и теряет прочность. Каждой зернистости соответствует определенная консистенция клея. Слишком жидкий клей будет плохо удерживать зерна, слишком густой — мешать самозатачиванию.

Не менее важна аккуратность при накатывании круга абразивным материалом. Ничтожное количество более крупных зерен, случайно попавших на круг, накатанный более мелким зерном, сделают круг сразу же непригодным — крупное зерно будет давать глубокую и трудновыводимую царапину.

Важна и правильная эксплуатация круга: он должен быть хорошо центрирован и надежно закреплен затяжной гайкой между двумя шайбами достаточно большого диаметра. На плохо центрированном круге слой абразивного материала быстро сбивается.

**Накатывание кругов.** Применять для накатывания абразивных кругов жидкое стекло нежелательно — круг получается жесткий, неэластичный; работа по накатыванию очень неприятна, так как трудно избежать попадания едкого жидкого стекла на руки. В крайнем случае его можно использовать для крупнозернистого материала, но оно неприемлемо для мелкозернистого (с зернистостью меньше 10).

Почти на всех заводах для накатывания применяется исключительно столярный мездровый клей; допустим и костный клей, хотя его технические качества несколько ниже. Оба клея выпускаются разной внешней формы: в плитках — дробленый, чешуйчатый — в виде стружки и галерты (густого раствора). Все эти формы, кроме галерты, совершенно равноценны в пределах данного сорта. Галерту, независимо от ее сорта, применять не следует — она чрезвычайно быстро загнивает вскоре после изготовления, не выдерживая даже перевозки от изготовителя к потребителю. Сорт клея желательно применять по возможности более высокий: экстра, высший или первый мездрового клея или высший — костного.

Для получения острого накатанного круга, долго сохраняющего свою остроту, очень важно правильно выполнить варку клея, сварить его нужной для данной зернистости консистенции, не перегреть его и не допустить даже незначительного его загнивания.

В чистую клееварку кладут отвешенное количество клея, наливают холодную воду и оставляют клей набухать при комнатной температуре. Количество клея и воды, в зависимости от зернистости приведено ниже.

Зернистость . . . . .	12	10	8—6	5	4	3
Клей (сухой), масс. доля, % . . . . .	35	33	30	25	23	20
Вода, масс. доля, % . . . . .	65	67	70	75	77	80

Плиточный клей набухает в течение 6—12 ч, чешуйчатый и другие мелкие формы — 2—6 ч. Чрезмерно долгое набухание нежелательно из-за опасения загнивания клея. Набухание можно считать закончившимся, когда все куски клея примут студнеобразную консистенцию без твердой сердцевины. Замачивание клея должно производиться незадолго до начала его варки, замачивать клей впрок нельзя.

Варить клей нужно не добавляя к нему воды сверх того количества, в котором он был замочен и не обращая внимание на то, что иногда клей впитывает в себя всю воду. Температура варки должна быть 60 °С и ни в коем случае не превышать 70 °С (случайно перегретый клей лучше вылить, чем испортить им всю партию накатанных кругов!). Варить надо обязательно на водя-

ной бане, т. е. поставив клееварку в сосуд с водой который уже можно нагревать любым способом, однако не доводя в нем воду до кипения, чтобы не перегреть клей в клееварке (полезно иметь в клееварке или в водяной бане термометр). Варка закончена, когда клей образует равномерную густую жидкость.

Клееварку обычно выполняют в виде двух концентрических сосудов: внутреннего и внешнего. Внутренний сосуд (клееварка) имеет бортик, которым он лежит на крае наружного, служащего водяной баней; зазор между стенками сосудов составляет около 10—20 мм, а между доньями — порядка 40—50 мм. Внешний сосуд может быть сделан из любого металла и должен иметь удобную ручку для переноски; внутренний — рекомендуется делать из алюминия, так как алюминий легко отмывается от клея. Клееварку желательно иметь отдельную для каждой зернистости абразивного материала во избежание заноса крупного зерна кистью при намазывании на круг второго слоя поверх первого. Объем клееварки должен быть рассчитан только на один день работы. По окончании накатывания кругов неиспользованный остаток клея надо выбросить, а клееварку — тщательно вымыть кипятком во избежание заноса гнилостных бактерий в свежий клей.

**Техника накатывания кругов.** Новый, не бывший в работе, войлочный круг надо после пробивки в нем (пробойником) центрального отверстия обрезать строго концентрически с отверстием. Эту операцию обычно выполняют на шлифовальном станке, хотя ее безопаснее производить на оправке, установленной на токарном станке, при небольшой частоте вращения (около 400 об/мин). Обрезка на быстроходном шлифовальном станке требует большой силы, умения и осторожности: отрезаемый кусок войлока может сильно ударить или вырвать из рук нож, что еще опаснее, поэтому один конец ножа надо при работе опереть на какую-нибудь надежную опору. Хороший нож получается из большого плоского напильника, заточенного на точильном круге с одного края на лезвие. При заточке не следует допускать сильного нагрева напильника, чтобы не отпустить сталь. У современных шлифовальных станков имеется специальный суппорт для установки ножа при

подрезке круга. Обрезка кругов на токарном станке безопасна и дает хорошие результаты.

Бывший в работе круг перед вторичным накатыванием иногда очищают от абразивного материала, отмачивая его в теплой воде с последующей сушкой. Но значительно чаще производят очистку насухо куском сломанного абразивного камня (точильного круга) с крупным зерном. Это можно делать на шлифовальном станке.

Если есть техническая возможность, то желательно перед накатыванием круги и абразивный материал нагреть до температуры 40—45 °С. Клей обязательно должен быть нагретым, но температура его не должна превышать 70 °С. Накатывать круг надо двумя слоями клея и абразивного материала с подравниванием каждого накатанного слоя прокатыванием круга вручную по гладкой, чистой от более крупного абразивного материала, деревянной доске; после накатывания первого слоя дать кругу подсохнуть при комнатной температуре в течение 30 мин.

**Сушка и дополнительная обработка накатанных кругов.** Сушить накатанные круги лучше при комнатной температуре в течение 24 ч в сухую погоду и до 48 ч — при влажном воздухе. В крайнем случае допустим нагрев кругов (в сушильном шкафу) до температуры не выше 35—40 °С, но естественная сушка дает лучшие результаты по эластичности и стойкости круга. Сушить круги естественной сушкой надо на вешалах (горизонтально укрепленных круглых жердях), на которые круги надеваются своими отверстиями с зазорами между соседними кругами для свободной циркуляции воздуха.

Прочность и эластичность клеевого слоя существенно улучшаются при его обработке дубящими веществами, что сильно повышает стойкость шлифовальных кругов. Для дубления можно применять растворы квасцов, таннина, хромпика (последний — с дополнительной выдержкой на солнечном или сильном искусственном свете), но наилучшие результаты получаются при обработке 10—15 %-ным раствором формалина. Наносить формалиновый раствор на слегка подсушенный (30 мин на воздухе) накатанный круг осторожно, чтобы не смыть клеевой слой с абразивным материалом, ватно-

марлевым тампоном, губкой, кистью, тряпкой или окутанием, затем сушить как обычно. При многослойном накатывании следует обрабатывать каждый слой отдельно.

Обработка формалином увеличивает долговечность круга в 2—3 раза. Формалин вредно действует на кожу и особенно на глаза, поэтому работать надо в резиновых перчатках и в защитных очках, под тягой или на вольном воздухе.

**Центрирование кругов.** Даже при аккуратной пробивке отверстия в войлочном круге плотность его посадки на шпиндель станка со временем нарушается, отверстие разрабатывается. Тогда шлифовщик надевает круг на шпиндель не затягивая гайку намертво, на короткое время запускает станок и подносит к кругу кусок мела или зеленой полировальной пасты, которая прочерчивает линию на части круга, дальше отходящей при его вращении от оси шпинделя. Затем, остановив станок, легким ударом по середине намеченной мелом линии осаживает круг и повторяет операцию, добываясь сплошной круговой меловой линии, после чего плотно затягивает гайку и приступает к шлифованию. Операция центровки круга совершенно необходима, но отнимает некоторое, хотя и небольшое время.

За рубежом для сохранения центровки круга при его многократных надеваниях на станок иногда вставляют в отверстие, пробитое в круге, металлическую втулку с толщиной стенки 3—5 мм, внутренний диаметр которой проточен по диаметру шейки шпинделя, а наружная поверхность имеет неглубокие поперечные шлицы, чтобы втулка не провертывалась в круге, или делают 3—4 небольших шипа на прилегающей к кругу поверхности зажимных шайб. Втулка со шлицами или гладкая втулка и зажимные шайбы с шипами ставятся в каждый круг и остаются в нем на все время его работы — до полного изнашивания круга. Шлицы или шипы рекомендуются, но, по-видимому, не обязательны, если шайбы, стянутые затяжной гайкой, достаточно обеспечивают вращение круга вместе со шпинделем без проскальзывания.

Совершенно недопустим встречающийся иногда способ надевания войлочного круга на конический винтовой наконечник шпинделя полировального станка,

предназначенный для грибков, работающих торцом. Коническая винтовая резьба, на которую круг натягивается за счет трения о детали, разворачивает отверстие в войлоке и делает круг непригодным не только для повторной установки на конический наконечник, но и для нормального крепления его на шейке вала.

## 28. Способы шлифования

**Шлифование круглыми волосяными щетками.** При шлифовании профилированных, да и плоских изделий, особенно из цветных металлов, очень удобны и высокопроизводительны круглые щетки с щетиной из естественного или синтетического волоса, смазанные пастой типа полировальной, но с более твердым и более крупным абразивным материалом, обычно корундом. При работе даже по стали щетка может заменить мелкие и средние номера накатанных кругов. Частота вращения щетки диаметром порядка 200—250 мм должна быть не меньше 2000 об/мин. Как и при работе на крацовочных щетках, сильно нажимать изделием на щетку не следует — щетка должна работать кончиками волосков.

**Шлифование на бесконечной ленте.** К шлифовальным станкам наших заводов (например, Дербентского завода шлифовальных станков) выпускаются приставки для шлифования бесконечной лентой из абразивной шкурки. Лента огибает нижний ролик, надетый на шпиндель станка, и верхний натяжной ролик, который закреплен на стойке с натяжным устройством, установленной с некоторым уклоном назад, чтобы не мешать работе. Угол наклона стойки можно менять вплоть до горизонтального ее положения. Шлифование производится на той части ленты, которая огибает нижний ролик, значительно реже — на неподпертой части ленты.

Нижний (опорный) ролик имеет размеры, аналогичные обычному накатанному кругу, но его не следует делать из войлока, войлочный ролик работает плохо. Очень удобны ролики из резины, а также деревянные с обкладкой из резины или пластмассы. Изготавливаются наборные ролики из листочков пластмассы, вспененной пластмассы или материала, пропитанного пластмассой, которые расположены по радиусам ролика поперек его

цилиндрической поверхности или под некоторым углом к образующей и зажаты между боковыми металлическими шайбами и цилиндрической деревянной втулкой.

Твердость материала ролика для шлифования плоских поверхностей должна быть 80—95 по Шору, для профилированных — около 30 по Шору. При обработке больших поверхностей часто берут ролик с крупными зубцами на его цилиндрической поверхности, расположенными вдоль образующей или под небольшим углом к ней; для изделий с небольшими поверхностями применяют ролик с мелкими зубцами. Профиль зубцов прямоугольный. Назначение зубцов состоит в улучшении сцепления ролика с лентой. Указанные различия в твердости ролика и в величине зубцов для разных типов деталей надо наблюдать, обрабатывая детали разных типов на соответствующих роликах.

Ленту вырезают вдоль рулона корундовой или карборундовой шкурки на прочной матерчатой основе с мездровым клеем или синтетической смолой в качестве связки. Длина ленты берется обычно 3,5—4 м, иногда больше, но не меньше, ибо короткие ленты не успевают остыть за время оборота. Концы ленты срезают наискось под углом порядка  $60^\circ$ , а по толщине — клином и склеивают внахлестку. На нижнем конце ленты можно частично, но не полностью, сошлифовать абразивный слой; можно вырезать края ленты плавными округлыми зубцами поперек ленты или наискосок и склеить ее встык с подкладкой из тонкого куса материи. Склеенную внахлестку ленту нужно надевать на станок так, чтобы склейка шла по направлению вращения.

## 29. Полирование и глянцевание

Полирование — процесс сглаживания поверхности металла в результате механического и химического воздействия на нее.

Глянцевание покрытия, в отличие от полирования, ведется более мягкими инструментами и абразивными материалами и менее трудоемко.

При работе на матерчатом (тряпочном) круге не следует сильно нажимать деталью на круг, тканевые листы круга должны работать только своим краем, не расхо-

дьясь в стороны, иначе в соприкосновение с деталью будут входить боковые поверхности листа, не смазанные полировальной пастой, сухая ткань круга будет гореть и пачкать деталь.

Не следует пользоваться матерчатыми кругами, сшитыми из мелких лоскутков — отходов швейного производства; как бы часто такой круг ни был прошит, он все равно очень быстро измочалится и рассыплется, а частая прошивка делает круг жестким. В крайнем случае, можно набирать круг из кусков ткани, предварительно сшитых в небольшое полотнище из трех-четырёх крупных лоскутов, сложить эти полотнища одно на другое в кипу так, чтобы нити основы (и, соответственно, утка) соседних, лежащих одно на другом полотнищ, пересекались под углом около  $45^\circ$ , прошить любым способом и обрезать по кругу. Рисунок прошивки круга совершенно неважен, важно только расстояние между соседними швами. Чем теснее прошит круг, тем он жестче. Круг для полирования мягких металлов можно прошить только несколькими отдельными стежками.

В гальваническом производстве на многих заводах шьют круги для своего гальванического цеха не из лоскута, а из цельной материи. Такие круги проще в изготовлении, дешевле, долговечнее, реже требуют остановки станка для смены круга, полируют лучше и менее опасны. Круги из мелкого лоскута бывают часто причиной травмы работающих, когда растрепавшиеся лохмотья вырывают изделие из рук.

Для глянцеваия таких мягких металлов, как гальванически осажденное серебро, иногда применяют щетки или кисти из хлопчатобумажных нитей, скрученных по нескольку ниток в жгуты. Кисти устанавливают на торце вала шлифовального станка (как ставят войлочные грибки). Такими кистями гляncуют, например, вогнутые посеребренные рефлекторы.

Современный полировальный станок имеет съемную тумбу, на которую его можно поставить при работе стоя. Убрав тумбу, можно работать на станке сидя. Станок имеет независимый привод правого и левого шпинделей от мощных электромоторов, устройство для полирования на бесконечной ленте, суппорт для обрезки круга, устройство для подачи жидкой полировальной

пасты и удобные вентиляционные кожухи. Скорость шпинделя — от 1300 до 4500 об/мин.

**Состав и приготовление полировальной пасты.** Полировальная паста состоит из какого-либо достаточно мелкого абразивного материала и из связки. Абразивный материал обычно составляет около 75 % от общей массы пасты. Назначение связки — удерживать абразивный материал и смазывать полируемое изделие, для чего связка должна быть достаточно твердой при комнатной температуре, а от нагрева изделия при полировании — плавиться. Кроме того, хорошая связка должна еще химически участвовать в процессе полирования, ускоряя его. Таким свойством, согласно мнению акад. И. В. Гребенщикова, практически обладает только один компонент связки — технический стеарин, образующий на многих металлах тонкую пленку окиси. Окись разрыхляет поверхность металла, стирающуюся с мельчайших выступов поверхности абразивной пасты при полировании и вновь образующуюся на обнажившемся металле под действием стеарина. Легко убедиться на практике, что применение пасты, в состав которой входит стеарин (обычно в количестве 10—20 %), значительно ускоряет и улучшает процесс полирования.

Чтобы паста была твердой при комнатной температуре, но не крошилась, а при полировании плавилась, в нее добавляют легкоплавкие компоненты (техническое сало, технический вазелин или, лучше всего, олеиновую кислоту) в количестве 2—5 %. Слишком сухая паста иногда дает на полируемом металле мелкие раковины, образующиеся при вырывании из металла отдельных кристаллов. Раковины эти имеют характерную форму запятых. Этот дефект — легко устраняется добавкой в пасту олеина (технической олеиновой кислоты).

Составлять смесь для варки пасты надо по весу, чтобы ее свойства всегда были постоянными и привычными для рабочих. Варить пасту надо на водяной бане при температуре, незначительно превышающей температуру плавления компонентов связки.

**Приготовление окиси хрома для полировальной пасты.** В практике промышленных предприятий применяют разнообразные по составу полировальные пасты, широко употребляются пасты ГОИ, которые постав-

ляются по техническим условиям ТУ 6-10-988—70. Однако многие предприятия предпочитают полировальные пасты собственного изготовления, учитывая специфику полируемых деталей.

Для полировальных паст рекомендуют весьма обширный ассортимент абразивных материалов (от венской извести и пемзы для особо мягких металлов до окиси алюминия, крокуса, кизельгура и т. п. — для более твердых). Практически на большинстве заводов для полирования наиболее часто применяемых металлов — стали, меди, латуни — и для глянцеваания всех покрытий и твердыми и мягкими металлами пользуются в качестве универсального материала окисью хрома («хромовой зеленью»). Применение этого материала вполне закономерно не только при полировании стали, никеля и даже латуни, но и при глянцеваании меди и алюминия, конечно, при внимательной работе, так как «хромовая зелень» дает очень хороший блеск. Но окись хрома вызывает увеличенный съем металла и при невнимательной работе увеличивается опасность проглянцовки.

Из имеющейся в продаже окиси хрома, предназначенной, по-видимому, для применения в качестве пигмента, а не абразивного материала, получается довольно тупая паста. Значительно легче и быстрее достигается яркий блеск при пользовании окисью хрома приготовленной сжиганием хромпика (двуххромовокислого натрия или двуххромовокислого калия) с серой. Измельченный хромпик смешивают с измельченной серой (удобнее пользоваться мелким порошком серы, поступающим в продажу под названием «серного цвета») в соотношении 10 массовых долей натриевого хромпика на 1,4 части серы для получения примерно 6 частей окиси хрома или на 10 массовых долей калиевого хромпика 1,2 частей серы для получения примерно 5 долей окиси хрома (сера везде берется в небольшом избытке, а выход готовой окиси указан приблизительно, ибо он зависит от аккуратности работы при сжигании). Тщательно перемешанную смесь помещают на противень (предпочтительно из хромистой жароупорной стали) и нагревают до полного сгорания, остужают, размельчают, отмывают горячей водой от легкорастворимого сернокислого натрия (или, соответственно, —

калия) и высушивают оставшуюся нерастворенной окись хрома.

Можно готовить окись хрома из смеси 10 массовых долей измельченного хромового ангидрида и 1,8 долей порошка серы. Способ этот удобен тем, что полученную окись хрома не нужно ни отмывать водой, ни сушить, но процесс сжигания идет очень бурно и с выделением большого количества едкого белого дыма — серного ангидрида. Смесь, насыпанную на противень из жаростойкой (хромистой) стали с довольно высокими бортами (смесь при горении вспучивается), подогревают с одного угла противня любым способом (паяльной лампой, на горне, на костре и т. п.) до почти сразу начинающегося самостоятельного горения и сейчас же снимают противень с огня. Реакция идет очень бурно, возможно разбрасывание на небольшое расстояние горячих комочков смеси.

Когда горение прекратится, дать образовавшейся зеленой массе остыть и измельчить ее. Измельчение можно производить легкими ударами молотком, окись хрома получается в виде губчатой, очень легко измельчаемой массы. Измельченный продукт желательно просеять через частое проволочное сито, чтобы отделить оставшиеся неразмельченными комки, а в случае применения противня из обычной листовой стали (не тоньше 1 мм, чтобы не прогорел) — для отделения могущей попасть с противня окарины.

## **Глава 8. СУХОЕ И МОКРОЕ ГАЛТОВАНИЕ**

Сухое галтование хорошо известно. Оно применяется для удаления заусенцев с мелких и средних по размеру деталей и для их полирования. Мокрое галтование, к сожалению, менее распространено, хотя оно дает великолепные результаты при разнообразных обработках мелких и средних деталей, позволяя выполнить в одном и том же оборудовании, без перегрузки, полирование и глянцеование до яркого глянца, травление и обезжиривание до очень хорошей степени чистоты, пригодной для последующего гальванического покрытия, великолепную промывку и даже сушку.

Принцип процесса состоит в том, что загруженные в барабан или колокол детали при его вращении трутся друг о друга и о добавляемый в некоторых случаях галтовочный материал, причем это трение усиливается за счет силы тяжести довольно высокого слоя деталей, давящей на нижние слои, а хорошее перемешивание с залитым раствором ускоряет процесс по сравнению с работой в стационарных корзинах и подобном оборудовании.

### 30. Оборудование для галтования

Чаще всего галтование ведут в барабанах. Детали, которые могут быть помяты при большом давлении и интенсивном перемешивании, обрабатывают в колоколах.

Барабаны бывают погружные и наливные, колокола — только наливные, хотя, в принципе, возможно применение и погружных. Погружные барабаны изготавливаются почти исключительно из стали, наливные — из дерева, стали и чугуна. Наливные стальные и чугунные барабаны желательно выложить изнутри деревом, резиной или какой-нибудь пластмассой. Это существенно уменьшит шум и изнашивание барабана. И барабаны, и колокола для лучшего перемешивания делают шести- или восьмигранными. Колокол может быть выполнен в виде гладкого конуса, поскольку он устанавливается под углом к вертикали, как и колокол для покрытия. Барабан иногда тоже делают гладким, но тогда для улучшения перемешивания ось его вращения располагают под некоторым углом к геометрической оси барабана (так называемая «пьяная бочка»).

Большого внимания требует устройство крышки барабана. Она должна плотно закрываться на резиновой прокладке, чтобы не выливался раствор при мокром галтовании или не выбивалась пыль — при сухом, и иметь прочный, надежный, удобно открываемый замок. Пожалуй, одна из наиболее удобных конструкций замка — это скоба, через которую проходит натяжной винт, прижимающий крышку к ее седлу в загрузочном отверстии барабана. Скоба своими концами входит в пазы, проушины или иные упоры на стенке барабана. Винт ввинчивается на резьбе в отверстие скобы и сво-

бодно вращается в месте своего упора в крышку, но не может быть отделен от нее, так как удерживается разрезной шайбой или шплинтом, входящим в выточку около его конца — это устраняет опасность его потери. Крышка снимается с барабана вместе со скобой и винтом.

**Барабаны и колокола для галтования.** Наливные барабаны и колокола устанавливают на такой высоте от пола, чтобы под барабаном или перед колоколом можно было поставить приемный бачок со съемным ситом и опорожнить в него барабан поворотом, а колокол — наклоном. Погружные барабаны в большинстве случаев монтируются на горизонтальной П-образной поворотной раме, поворотом которой на  $180^\circ$  они могут быть вынесены из ванны с рабочим раствором в промывочную ванну или на разгрузочную площадку. Приемлемо, конечно, и любое другое разгрузочное устройство. Ничто не должно мешать доступу сверху к барабанам и колоколам для их загрузки.

### 31. Эксплуатация галтовочного оборудования

Галтование идет тем интенсивнее, чем быстрее вращается барабан или колокол, однако повышать эту скорость беспредельно нельзя. Для каждого барабана и колокола существует зависящая от его внутреннего диаметра предельная скорость, при которой действующая на детали при вращении барабана центробежная сила прижмет их к стенке и они станут вращаться вместе с барабаном как сплошная масса металла, при этом их перемешивание, а следовательно, и галтование прекратятся. Эта предельная частота вращения  $n$  зависит только от диаметра описанной окружности  $d$  торца барабана или дна колокола и не зависит от массы загрузки.

Теоретическая предельная частота вращения:

$$n_{\text{теор}} = 42/\sqrt{d}^1, \quad (24)$$

где  $n$  — частота вращения барабана, об/мин;  $d$  — диаметр описанной окружности.

---

<sup>1</sup> Данное уравнение выведено из условия равенства центробежной силы  $mv^2/r$ , действующей на наиболее удаленную от центра вращения деталь (это расстояние для упрощения принято равным радиусу  $r$  описанной окружности барабана), и ее силы тяжести  $mg$ .

Практически эта предельная скорость еще уменьшается вследствие трения между деталями, галтовочным материалом и раствором, которое затрудняет перемешивание. Практически предельную частоту вращения берут не более половины этой величины, т. е.

$$n_{\text{пр}} = 20/\sqrt{d}. \quad (25)$$

**Галтующие материалы.** Эти материалы не должны быть мягче металла детали. Правда, при сухом галтовании часто применяют опилки, но они истирающего действия не оказывают; галтование идет за счет взаимного трения деталей, а опилки только счищают с них металлическую пыль. Следует использовать опилки из лиственных пород, не смолистые и не выделяющие таннина, придающего темный цвет стали, лучше всего березовые.

Для мокрого галтования применяют речной песок (без глины), мелкую гальку, фарфоровый бой и стальные шарики от шарикоподшипников, которые можно заменить проволоочной «сечкой». Проволоку нужного диаметра рубят на штамповочном прессе на кусочки 15—20 мм длиной и галтуют в течение нескольких часов с мыльной водой или с кислотой для заглаживания заусенцев от резки.

Хранить стальные шарики и «сечку» надо в воде с добавкой 2 % кальцинированной соды или 0,5—1 % нитрита натрия, или 0,05—0,1 % хромата натрия, или 0,5 % хозяйственного мыла, а в случае их продолжительного хранения перед пуском в работу немного погалтовать.

**Растворы для галтования.** Если галтование предназначено только для заглаживания поверхности деталей, то мокрое галтование можно вести с раствором 5 г/л хозяйственного мыла. Для обезжиривания и травления применимы любые растворы, употребляемые в гальванотехнике для этих целей, но разбавленные в 3—5 раз. Травильный раствор надо брать с ингибитором травления (КС, ЧМ и др.), чтобы не портить стальной или чугунный барабан, даже если он футерован.

Для промывки деталей желательно заливать в барабан горячую воду — она не успеет сильно остыть за время промывки. Но если после травления детали

должны сразу идти на покрытие, то промывка после травления должна вестись холодной водой.

Для сушки применяют сухие (подсушенные в сушильном шкафу) березовые опилки, но в большинстве случаев сушку удобнее вести в центрифуге (навалом) или в сушильном шкафу (на сетчатых поддонах).

**Техника безопасности при галтовании.** Работающий барабан должен быть огражден легкосъёмным но прочным барьером, не позволяющим подойти к барабану на такое расстояние, на котором он может своими выступающими частями (замком крышки, механизмом привода, даже своими гранями) зацепить одежду человека.

Особо следует обратить внимание на травление в барабане. Даже при наличии в растворе ингибитора травления все же происходит значительное выделение водорода. Поэтому на барабане, в котором хотя бы изредка ведется травление, обязательно должен быть небольшой кран для периодического выпуска скапливающегося водорода. Кран можно ввернуть в одну из граней барабана или в крышку.

Раз в полчаса или в час барабан останавливают, поворачивают его в такое положение, чтобы кран оказался в верхней, не заполненной раствором части барабана и чтобы его выходное отверстие не было направлено туда, где может в это время оказаться человек, и открывают кран на несколько секунд, пока не прекратится шипение выходящего газа. Если не повернуть барабан как указано, то давлением газа может выбросить через кран струю кислоты.

Если своевременно не выпустить скапливающийся в барабане водород, то его возросшее давление может сорвать крышку барабана.

## **Глава 9. ХИМИЧЕСКОЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОБЕЗЖИРИВАНИЕ**

Обезжиривание деталей перед гальванической обработкой выполняется в ваннах с качающимися корзинами (см. п. 7) и в галтовочных барабанах. Для электрохимического обезжиривания применяют ванну, описанную в п. 7.

Назначение обезжиривания состоит в удалении с поверхности деталей пленки органических жиров и минеральных масел, а также различных твердых загрязнений (мелкой металлической и минеральной пыли), удерживаемых на детали жировой (масляной) пленкой. Органические жиры попадают на детали, если при их полировании применялись пасты со стеарином, олеином, техническим салом, и от соприкосновения с человеческими руками, которые, как бы чисто они ни были вымыты, всегда покрыты выделяющимися из кожи жиром и потом. Минеральные масла (и близкие к ним вещества) — это смазочные и консервирующие материалы, специально наносимые на металл при его хранении или попадающие на него в процессе механической обработки. Твердые загрязнения могут быть весьма разнообразными, но к ним в данном случае не относят окислы.

В гальванотехнической литературе иногда указывается, что при обезжиривании в щелочных растворах происходит омыление органических жиров, т. е. превращение их в легко растворимое в воде мыло. Теоретически это правильно, но практическая ошибка такого утверждения заключается в том, что оно не учитывает элемента времени. Процесс омыления очень длителен. Причина этого в том, что даже при интенсивном кипении водный раствор щелочи и растопленный жир образуют два несмешивающихся между собой слоя и химическая реакция между ними идет чрезвычайно медленно, в течение нескольких часов.

Следовательно, даже при химическом обезжиривании, продолжающемся 0,5—2 ч, вряд ли можно ожидать какого-либо существенного омыления жира, а тем более при электрохимическом обезжиривании, продолжающемся не более 5 мин. К тому же преобладающее загрязнение — минеральные масла — не омыляются ни при каких условиях. Обезжиривание, удаление с деталей органических жиров и минеральных масел достигается благодаря наличию в обезжиривающем растворе специально добавляемых эмульгаторов — веществ, которые проникают между частицами загрязнений и металлом, отделяют их таким образом от поверхности детали и удерживают в виде устойчивой эмульсии — мелких капелек, не сливающихся в сплош-

ной слой жира, который иначе мог бы снова прилипнуть к детали. В растворе для электрохимического обезжиривания к действию эмульгаторов добавляется очень эффективное и интенсивное удаление загрязняющих частиц с поверхности детали пузырьками выделяющегося газа (водорода — при катодном процессе и кислорода — при анодном).

Надежное обезжиривание без эмульгаторов, даже при интенсивном газовыделении в электрохимическом процессе, практически невозможно. Ни едкие, ни углекислые щелочи эмульгирующими свойствами не обладают, они только создают благоприятные условия для работы эмульгаторов.

## 32. Обезжиривающие растворы

**Эмульгаторы.** В состав обезжиривающих растворов издавна вводились компоненты, обладающие более или менее заметным эмульгирующим действием. Так, например, небольшим эмульгирующим действием обладает тринатрийфосфат. Более сильно эмульгирует жидкое стекло, но оно имеет существенный недостаток — в случае плохой промывки после обезжиривания при последующем активировании в слабокислом растворе неотмытое жидкое стекло под действием кислоты разлагается с образованием на детали нерастворимой пленки окиси кремния, нарушающей прочность сцепления покрытия. Хороший эмульгатор — обычное хозяйственное мыло, но при его концентрации свыше 3—5 г/л в концентрированном растворе щелочи оно высаливается и всплывает на поверхность раствора, образуя пленку, могущую прилипнуть к деталям при их извлечении из ванны. Кроме того, большинство сортов хозяйственного мыла содержит значительные количества канифоли в виде канифольного мыла, которое при гидролизе разлагается, образуя на детали канифольную пленку, препятствующую покрытию.

Хорошим эмульгирующим действием обладают синтетические эмульгаторы, выпускаемые ныне в очень широком ассортименте. К ним относятся ОП-7, ОП-10, синтанол ДС-10, сульфанол НП-3 и др. Добавляют их в ванну обезжиривания в количестве 0,05—0,5 %, редко больше.

**Синтетические моющие средства.** Промышленность выпускает синтетические моющие средства, специально предназначенные для обезжиривания металлических деталей в заводских условиях: ТМС-31, ТМС-70, МЛ-51, МЛ-52 и др. Для обезжиривания стальных деталей могут быть с успехом использованы жидкости, выпускаемые промышленностью для мытья столовой (бытовой) посуды, например «Жемчуг» (завода «Мосбытхим»), «Вильва» (завода «Ленбытхим») и др. Водный 0,5—1,0 %-ный раствор этих жидкостей при 40—50 °С и интенсивном перемешивании удаляет полировальную пасту за 10—15 мин. При протирании деталей волосяными щетками вручную, подобно тому, как это делается кое-где еще и сейчас при мытье в бензине, керосине или иных горючих растворителях, обезжиривание достигается быстрее, чем в горючих растворителях и совершенно безопасно как в пожарном, так и в гигиеническом отношении. Можно использовать и бытовые стиральные порошки, разводя их в концентрации, рекомендованной для применения в стиральной машине, но поскольку они предназначены не для стали, а для материи, надо предварительно проверить действие порошка данной марки на стальном образце, ибо некоторые вызывают заметную коррозию стали.

### **33. Завершающие и контрольные операции**

Щелочные растворы плохо смываются с металлических деталей, поэтому промывку после химического и электрохимического обезжиривания нужно вести в горячей (70—90 °С) воде, но, поскольку после электрохимического обезжиривания обычно следует активирование, куда деталь должна обязательно поступать холодной, во избежание ее обсыхания и окисления, то после электрохимического обезжиривания должна следовать сначала промывка в горячей воде, а затем — в холодной.

Невооруженным глазом можно увидеть на обезжиренной детали только значительные загрязнения и неудаленные при предшествующем травлении достаточно толстые пленки окислов.

Немного более чувствительный метод — протирание влажной поверхности деталей чистой белой тряп-

кой или фильтровальной бумагой при сильном нажиме. Это позволяет, например, заметить, благодаря жирному пятну на тряпке, остатки на детали плохо удаленной консервирующей смазки.

Широко распространен способ окунания испытуемой детали в воду, основанный на том, что вода не смачивает загрязненную поверхность металла, оставляя на извлеченной из воды детали в загрязненных местах хорошо видимые глазом разрывы водяной пленки. Однако в некоторых условиях, в частности, при малых количествах жировых загрязнений, при наличии следов мыла, облегчающих смачивание, небольших количеств ржавчины и мелкораздробленного металлического порошка (опилок), способ может не показать присутствия загрязнений и, наоборот, в некоторых случаях создать впечатление присутствия несуществующих загрязнений. Чтобы по возможности избежать грубых ошибок, нужно проводить испытание в следующей последовательности: после операции обезжиривания промыть деталь как обычно; затем промытую деталь опустить в чистую, холодную воду, дать стечь избытку воды в течение примерно 30 с, но не дольше, чтобы не успела испариться водяная пленка; осмотреть деталь; окунуть ее в 1—2 %-ную серную кислоту для разрушения следов мыла (не применять соляную кислоту!); затем опять окунуть в чистую холодную воду и вновь осмотреть деталь.

При чрезмерно толстом слое воды (при недостаточной выдержке для стекания) вода может удержаться и на грязной поверхности, а при излишне большой выдержке деталь обсохнет и создаст ложное представление о плохой смачиваемости.

## **Глава 10. ХИМИЧЕСКОЕ АКТИВИРОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ АКТИВИРОВАНИЕ С ПАССИВИРОВАНИЕМ**

На поверхности почти всякого металла всегда имеется слой окислов. Особенно легко и быстро он образуется на поверхности металла, не защищенного от контакта с кислородом воздуха слоем жира, минераль-

ного масла или другого вещества, слабо проникаемого для воздуха. Слой окисла мешает прочному сцеплению металла покрытия с основным металлом детали, поэтому перед покрытием окисный слой должен быть удален. Обычно его удаляют обработкой обезжиренной детали слабым раствором кислоты. В более редких случаях окислы растворяют цианистыми солями (например, на меди и ее сплавах)-или более сложными способами, как на алюминии.

Процесс удаления с деталей относительно тонкого слоя окислов называется активированием. Оно может производиться химическими или электрохимическими методами.

### 34. Химическое активирование

**Медь и ее сплавы.** Медь, латунь, томпак и бронза не очень хорошо активируются серной кислотой, немного лучшие результаты дает соляная кислота, но действие и той и другой не очень надежно, ибо обе кислоты хотя и растворяют окислы меди, но медленно.

Хорошо активируют медь и ее сплавы цианистые соли. Однако многие гальванические цехи избегают работы с цианистыми солями, как вследствие их ядовитости, так и из-за сложности очистки сточных вод от цианистых солей и ряда других организационных затруднений.

В порядке эксперимента было опробовано активирование меди раствором следующего состава (г/л):

Хромовый ангидрид	100
Сернокислый аммоний	40

Продолжительность активирования порядка 5 с — раствор интенсивно растворяет не только окислы, но и самую медь, поэтому продолжительность процесса надо уточнить опытным путем. Активирование в экспериментальных условиях получалось хорошее. Возможно, что окажется рациональным несколько уменьшить концентрацию раствора против указанной выше.

Этот раствор требует очень тщательной промывки деталей после активирования, так как занос неотмытого хромового ангидрида для многих ванн покрытия, в первую очередь для никелевой ванны, очень вреден. Услож-

няется и процесс очистки сточных вод, поэтому вопрос о промышленном применении указанного раствора должен быть решен в зависимости от местных условий.

**Серый чугун.** Гальваническое покрытие серого чугуна во многих случаях сопряжено с большими затруднениями. Причины этих затруднений следующие.

Первая причина — пористость чугуна. В порах удерживаются остатки растворов подготовительных операций, нарушающие нормальную работу электролита ванны покрытия. Поры очень увеличивают фактическую поверхность детали, что требует увеличения силы тока сверх той, которая была рассчитана по кажущейся, проекционной величине поверхности.

Вторая причина — пристаивание к литой детали формочной земли (песка). Ее удаляют обработкой 2—5 %-ной плавиковой кислотой в расчете на HF. Плавиковая кислота и ее пары (даже при комнатной температуре) вредно действуют на кожу и слизистые оболочки дыхательных путей и глаз, поэтому работать нужно в резиновых перчатках и защитных очках.

Третья причина — часто присутствующий в чугуне фосфор, образующий на поверхности детали нетокопроводящие, непокрывающиеся пленки фосфорных соединений. По-видимому, единственно надежное средство борьбы — механическая обработка, крацовка стальными щетками или даже шлифование.

Четвертая причина — мелкораздробленный графит, выделяющийся на границах зерен чугуна при его застывании после литья. Этот графит вреден тем, что водород выделяется на нем легче (с меньшим перенапряжением), чем на железе, а это очень затрудняет гальваническое покрытие чугуна многими металлами.

С этим вредным влиянием графита пришлось иметь дело при промышленном гальваническом оловянении довольно крупных чугунных отливок. Эффективный способ удаления графита заключается в его сжигании на поверхности чугуна путем обработки крепкой азотной кислотой, а еще лучше — разбавленной (в соотношении одной части воды на две части крепкой азотной кислоты). Обработанный азотной кислотой чугун заметно светлеет и хорошо покрывается оловом из кислого электролита. Иногда случалось, что небольшие участки плохо покрывались оловом,

но после дополнительного протирания дефектного места азотной кислотой дефект устранялся.

Обработку азотной кислотой можно выполнять окутанием, а в случае, если детали громоздкие — обработку можно с успехом производить натиранием. При натирании следует иметь в виду, что некоторые органические волокнистые материалы, например хлопчатобумажные, могут самовозгораться при контакте с крепкой азотной кислотой.

### **35. Электрохимическое активирование стали с пассивированием**

При анодной обработке стальных деталей в химически чистой серной кислоте при комнатной температуре и плотности тока на аноде не ниже  $5\text{--}7\text{ А/дм}^2$  сначала деталь травится, как обычно, но через некоторое время сила тока самопроизвольно резко падает примерно на  $25\text{--}30\%$  от начального значения, напряжение на ванне поднимается приблизительно на такую же величину, и на детали начинается интенсивное газообразование. Выделяющиеся пузырьки кислорода в первый же момент срывают с поверхности детали образовавшийся на ней при травлении во время активного периода шлам в виде густого темного облачка и на детали продолжается устойчивое газообразование при наступившем пассивном состоянии. Если не снижать плотность тока, не нарушать контакт и не шевелить деталь, то это пассивное состояние может сохраняться в течение получаса и дольше.

В пассивном состоянии никакого заметного растравливания никогда не наблюдалось. Поверхность детали, извлеченной из ванны в таком пассивном состоянии, — светлосерая с очень мелкозернистой матовой поверхностью. Закаленные детали или их закаленные участки (при местной калке) приобретают очень темный, почти черный цвет, но гальванически покрываются хорошо. Пассивированную деталь нужно извлекать из раствора (лучше — под током), хорошенько промыть и повесить в ванну покрытия.

Продолжительность активного периода длится от нескольких секунд до  $5\text{--}10$  мин в зависимости от плотности тока и степени чистоты серной кислоты. Чем

выше плотность тока, тем короче активный период. Обычно применяют режим активного периода, продолжающегося 1—7 мин, хотя допустимо его увеличение даже до 15 мин.

Степень чистоты серной кислоты очень важна, в ней должно быть возможно меньше ионов хлора или других активирующих железо ионов. Вместо химически чистой серной кислоты вполне возможно применять аккумуляторную серную кислоту, но в ней пассивное состояние наступает только при плотности тока 10—15 А/дм<sup>2</sup>. В технической серной кислоте устойчивая пассивность не достигается практически ни при каком режиме, пассивное и активное состояния все время сменяют друг друга. Правда, если успеть вынуть деталь из ванны во время короткого пассивного периода, то можно получить хорошее сцепление с покрытием, но в производственных условиях такой способ работы неудобен и ненадежен.

Наиболее выгодная концентрация серной кислоты  $30 \pm 5$  %. Эта концентрация соответствует наибольшей электропроводности водных растворов серной кислоты, что позволяет работать при источнике тока напряжением в 6 В. Более крепкая кислота неудобна вследствие значительно большей опасности ожогов рабочих и сильного уменьшения растворимости образующегося в ходе процесса сернокислого железа. Накапливающийся в крепкой кислоте осадок безводного сернокислого железа приходится часто вычерпывать со дна ванны, а операция эта чрезвычайно неприятна.

Температура раствора должна быть возможно ближе к комнатной — при повышенной температуре железо трудно запассивировать.

Сцепление гальванически осажденных металлов с поверхностью так обработанных деталей несравненно выше, чем при обычно применяемых способах подготовки. Способ применялся в промышленных условиях с неизменным успехом.

Была сделана попытка использовать этот способ для матирования поверхности стальных деталей перед никелированием. Однако, хотя режим активного периода травления был выбран весьма интенсивный, оказалось, что получаемое при этом матирование настолько мелкозернисто, что после никелирования оно было уже едва

заметно, а после глянцеваания никакой разницы в блеске матированной и нематированной поверхностей не обнаруживалось вовсе. Эта «неудача» интересна тем, что она устраняет всякие опасения о возможности перетравливания поверхности детали при активировании с пассивированием.

Перед и после активирования производится промывка детали для удаления с нее следов предыдущего раствора.

На чистой, хорошо обезжиренной и сухой поверхности стали в воздушной атмосфере при комнатной температуре слой окислов молекулярной толщины образуется практически мгновенно (примерно за 0,02 с) [5]. Оставшийся на детали после холодной промывки слой воды затрудняет доступ кислорода к стали и замедляет окисление. После горячей промывки, когда и вода и деталь горячие, вода быстро испаряется и сталь лишается ее защиты. Поэтому, после горячей ванны обезжиривания и обязательной горячей промывки должна следовать холодная промывка, чтобы детали попали в ванну активирования охлажденными. Сама ванна активирования и промывка после нее должны быть тоже холодными, чтобы защитный слой воды, оставшийся на детали после промывки, сохранился не высохнув до загрузки детали в ванну покрытия. Хотя катодная поляризация при гальваническом покрытии и кислая реакция большинства применяемых у нас электролитов и содействуют активированию покрываемой детали в самой ванне покрытия, нужно все же принять все возможные меры против окисления поверхности детали.

## Раздел II

# ПОКРЫТИЯ

---

### Глава 11. НИКЕЛИРОВАНИЕ

Для никелирования было предложено довольно много различных электролитов, но наибольшее распространение получили только два: сернокислый и сульфаматный. Оба типа электролитов, особенно сернокислый, встречаются в практике гальванических цехов в весьма разнообразных вариантах, но различия в технологических свойствах вариантов в большинстве случаев менее резко выражены, чем между электролитами этих двух типов.

#### 36. Сернокислые никелевые электролиты

**Состав.** Любой электролит сернокислого типа, как и всякий электролит для катодных покрытий, содержит, в первую очередь, соль металла покрытия или другие его соединения, дающие в растворе ионы металла покрытия, в данном случае — сернокислый никель. Сернокислые никелевые электролиты почти всегда применяются с растворимыми анодами, посылающими в раствор ионы никеля, но так как ионы металла даже при перемешивании движутся от анода к катоду очень медленно, то для бесперебойной работы ванны с самого первого момента включения тока в электролите должно находиться заранее введенное, обычно довольно значительное, количество ионов металла покрытия.

Кроме основного компонента (иона никеля), в состав никелевого электролита входит еще ряд компонентов, теоретически несколько менее важных для катодного осаждения металла, но практически необходимых для нормальной эксплуатации ванны. Это, во-первых, добавка для увеличения электропроводности раствора,

во-вторых, буферная добавка, в-третьих, добавка для активирования анодов и, в-четвертых, блескообразующие и выравнивающие добавки.

Для увеличения электропроводности электролита, нужного не только для экономии энергии, но, главным образом, для улучшения его рассеивающей способности, в раствор добавляют соли щелочных металлов, обычно сернокислого натрия, иногда — значительное количество хлористых солей, преимущественно хлористого никеля.

В качестве буферной добавки применяется почти исключительно борная кислота. Назначение буферной добавки заключается в автоматическом поддержании заданной кислотности. Обычно всякое буферное вещество устойчиво поддерживает постоянство кислотности только в узких ее интервалах и во вполне определенном диапазоне. Добавкой для активирования анодов, их более легкого и равномерного растворения, служат преимущественно хлористые соли натрия или никеля. Цель блескообразующих и выравнивающих добавок состоит в получении непосредственно в гальванической ванне без последующей операции глянцеваания блестящего и относительно равномерного по толщине покрытия.

Иногда одно и то же вещество обладает и блескообразующими и выравнивающими свойствами, хотя и в разной степени, но чаще для каждой из этих целей добавляют самостоятельный компонент. И, наконец, изредка применяют добавки, предназначенные для улучшения цветового оттенка и механических свойств никелевого покрытия. К ним относятся сернокислый магний, фтористый калий, лимоннокислые и аммонийные соли и т. д.

**Диапазоны концентраций компонентов.** Сопоставление приводимых в технической литературе рецептур никелевых электролитов позволяет сделать вывод, что для поголовного большинства компонентов никелевых электролитов можно выбирать их концентрацию в больших, часто — в чрезвычайно больших диапазонах, нижний предел которых ограничен существенным снижением эффективности компонента при его малой концентрации, а верхний — зачастую пределом его растворимости. Так, для сернокислого никеля

$\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  применяемые пределы его концентрации от 70 до 800 г/л (преимущественно 250—350 г/л); для хлористого никеля  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  — от 30 до 90 г/л; для сернокислого натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  — 50—160 г/л; для борной кислоты  $\text{H}_3\text{BO}_3$  — 25—40 г/л; для хлористого натрия  $\text{NaCl}$  — 5—15 г/л; для сернокислого магния  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 30—60 г/л.

**Характер действия компонентов.** Всякие комбинации основных компонентов никелевых электролитов, взятых в указанных выше пределах концентраций, дадут работоспособные ванны, но все же следует иметь в виду характер действия этих компонентов при выборе конкретного состава раствора.

С повышением концентрации сернокислого никеля повышается верхний допустимый предел катодной плотности тока, а следовательно, и скорость покрытия, но увеличиваются потери на унос дорогой никелевой соли.

Увеличение концентрации хлористого никеля усиливает обе его функции, присущие хлор-иону, — увеличение электропроводности, а, вследствие этого, и рассеивающей способности и усиление активирования анодов, что повышает предел анодной плотности тока. Одновременное, хотя и относительно небольшое, увеличение концентрации никелевого катиона позволяет несколько увеличить верхний предел катодной плотности тока. Но чрезмерная концентрация хлор-иона может привести к получению крупнокристаллической структуры покрытия.

Увеличение концентрации сернокислого натрия благоприятно сказывается на электропроводности и рассеивающей способности ванны. Никаких вредных последствий увеличение концентрации в указанных пределах не оказывает, и поэтому желательно держать ее на верхнем пределе.

Верхний предел (40 г/л) близок к пределу насыщения для холодного раствора, да и буферные свойства борной кислоты при концентрации, превышающей 25 г/л, уже не улучшаются.

Для наиболее склонных к пассивированию анодов в большинстве случаев вполне достаточно верхнего предела концентрации хлористого натрия. При работе с катаными никелевыми анодами марок Н-1, Н-2 достаточна концентрация 7 г/л.

**Добавки, улучшающие кристаллическую структуру покрытия.** В то время, как перечисленные выше основные компоненты допускают очень большие колебания концентраций, существенно не сказывающиеся на работоспособности ванны, количество присутствующих в ванне блескообразующих, выравнивающих, антипигментных и прочих улучшающих кристаллизацию добавок должно строго контролироваться и поддерживаться в весьма узких пределах. Поскольку теория действия этих добавок в большинстве случаев еще недостаточно полно изучена, их количество при разработке обычно подбирается опытным путем. Поэтому, хотя ниже и указаны пределы применяемых в большинстве рецептур концентраций этих добавок, приводимые цифры следует рассматривать только как иллюстрационный, ориентировочный материал, а не как конкретные пределы для допустимых произвольных изменений. За рецептурные количества и допустимые их колебания при эксплуатации следует принимать указанные в выбранном конкретном рецепте цифры. Эти пределы, как правило, очень узки и выход за них в меньшую сторону ведет к недопустимому снижению полезного действия добавки, а при выходе в большую сторону — к порче покрытия.

Блескообразующие добавки часто несут две, не всегда совпадающие функции: одни из них дают яркий блеск, но вызывают хрупкость покрытия, другие — мало влияют на блеск, но снижают хрупкость, вызванную добавкой первого типа. Вещества первого типа в большинстве случаев содержат в своей молекуле

следующие ненасыщенные группы:  $\text{—}\overset{\textstyle |}{\text{C}}=\text{O}$ ;  $\text{—}\overset{\textstyle |}{\text{C}}=\overset{\textstyle |}{\text{C}}\text{—}$ ;  $\text{—N}=\text{C}=\text{S}$ ; в молекулах веществ второго типа

часто встречается группа  $\text{—}\overset{\textstyle |}{\text{C}}\text{—SO}_2$ .

В табл. 9 приводятся некоторые наиболее часто применяемые добавки никелевых электролитов.

**Свойства.** Покрытия из сернокислых электролитов в зависимости от их состава получают разной твердости от 150—200 HV до 450 HV (из ванны с концентрацией хлористого аммония 25 г/л). Растягивающие внутренние напряжения, сравнительно небольшие при ма-

**Таблица 9. Концентрации блескообразующих  
и других добавок никелевых электролитов**

Наименование	Формула	Концентрация, г/л
<i>n</i> -Аминобензолсульфамид	$C_6H_4SO_2(NH_2)_2$	0,18—0,25
Барбитуровая кислота	$C_4H_4O_3N_2 \cdot 2H_2O$	0,03—0,09
1,4-Бутиндиол	$CH_2OH-C \equiv C-CH_2OH$	0,05—0,5
Монохлорамин Б (бензол-сульфохлорамид натрия)	—	2,0—2,5
1,5-Дисульфонафталиновая кислота	$C_{10}H_6(SO_3H)_2$	1,0—3,5
2,6—2,7-Дисульфонафталиновая кислота	$C_{10}H_6(SO_3H)_2$	2,0—4,0
Сахарин	$C_6H_4SO_2NHCO$	0,5—2,0
Сульфенол	(Смесь натриевых солей алкилбензол-сульфоновых кислот)	0,015
Сульфосалициловая кислота	$C_7H_6O_6S \cdot 2H_2O$	0,1—1,0
Формальдегид	$HCHO$	0,02—1,2
Фталимид	$C_6H_4(CO)_2NH$	0,08—0,12

лой твердости, при увеличении твердости также увеличиваются. Плотность тока на катоде равна от 0,5 до 10 А/дм<sup>2</sup>. Кислотность иногда снижают в «быстрых» горячих ваннах до рН 1—2 и поднимают до рН 5,9 в ванне твердого никеля, но в большинстве рецептов величина рН устанавливается в пределах 4,5—5,6. Рабочая температура обычно берется от комнатной (при малых плотностях тока) и до 60 °С при больших плотностях. Интенсивное перемешивание при больших плотностях тока обязательно.

### 37. Сульфаматные никелевые электролиты

**Состав.** Концентрация никеля, вводимого в сульфаматные ванны в основном в виде соли сульфаминовой кислоты  $HSO_3NH_2$ , составляет от 300 до 600 г/л. В ГОСТ 9.047—75 приведен сульфаматный электролит с концентрацией сульфамата никеля 300—400 г/л, столько же его указывается и в других рецептах, и только в ванне Кендрика концентрация его составляет 600 г/л, что придает этой ванне ряд практиче-

ски очень интересных свойств. Остальные два основных компонента — хлористый никель и борная кислота — по назначению аналогичны их роли в сернокислых электролитах, хотя первый из них берется в несколько меньшей концентрации (12—30 г/л).

В рецептуры обычных электролитов почти всегда добавляют какой-нибудь смачиватель, чаще всего лаурилсульфат натрия  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{11}\text{OSO}_3\text{Na}$ , нужный для предотвращения питтинга, к которому эти электролиты склонны. Кроме того, прибавляют еще некоторые специальные добавки, например, натриевую соль нафталин-1,3,6-трисульфоновой кислоты, позволяющую в зависимости от ее концентрации менять в широких пределах внутренние напряжения не только по величине, но и по знаку, переводя их из растягивающих в сжимающие с переходом через нулевое значение. Практически удерживать нулевые значения внутренних напряжений долгое время в производственных условиях часто бывает затруднительно, но возможно. Это свойство менять внутренние напряжения по величине и знаку — очень важное достоинство сульфаматных электролитов.

Концентрация лаурилсульфата в сульфаматных ваннах 0,1—1,0 г/л; натриевой соли нафталинтрисульфоновой кислоты — 7,5 г/л. Расход лаурилсульфата натрия при эксплуатации ванны составляет 1,4 г на 3,6 МКл/л.

В ванну Кендрика обычно не добавляют ни антипиттинговых добавок, ни нафталинтрисульфоната — они не нужны. Величину и знак внутренних напряжений в ней регулируют изменением плотности тока. Концентрация хлористого никеля в ванне Кендрика ниже, чем в других сульфаматных электролитах. Ниже приведена концентрация (г/л) электролита в ванне Кендрика.

Сульфамат никеля	550—650
Хлорид никеля	5—15
Борная кислота	30—40

**Свойства.** Применение сульфаматных электролитов позволяет работать при более высоких катодных плотностях тока, чем в сернокислых, — до 32 А/дм<sup>2</sup> (при 60 °С) в обычной ванне и до 43 А/дм<sup>2</sup> в ванне Кен-

дрика. Рассеивающая способность в них лучше, чем в сернокислых.

В ванне Кендрика детали с простым профилем можно покрывать даже при плотности тока до  $88 \text{ А/дм}^2$ . Рассеивающая способность этой ванны лучше, чем других сульфаматных ванн.

Однако сульфаматные ванны имеют и некоторые недостатки, затрудняющие их эксплуатацию. Их электролит стоит дороже сернокислого. Ванны требуют тщательной и частой периодической, а то и непрерывной очистки и фильтрования, а также подогрева и перемешивания.

**Внутренние напряжения в покрытии и способы их измерения.** При кристаллизации металла покрытия в его слое, вследствие различия кристаллических структур, возникают внутренние напряжения (растягивающие или сжимающие), направленные в плоскости покрытия и достигающие часто значительных величин, приводящих к отрыву от основного металла («слущивание» покрытия). Внутренние напряжения от различной кристаллизации часто усугубляются напряжениями, возникающими даже при небольших изменениях температуры за счет разных коэффициентов теплового расширения основного металла и металла покрытия.

Для того чтобы наглядно увидеть эти внутренние напряжения, а также направление их действия и замерить их величину, надо взять образец основного металла в виде тонкой, узкой и длинной пластинки (фольги), заизолировать одну ее сторону лаком и повесить ее на катодную штангу неизолированной стороной против анода. По мере осаждения на ней покрытия пластинка начнет изгибаться по дуге. При растягивающих внутренних напряжениях выпуклость дуги будет направлена в сторону анода, при сжимающих — в противоположную сторону.

Приводимые ниже два способа расчета не являются абсолютно точными, ибо оба они предполагают, что образец изогнут по дуге круга, тогда как в действительности из-за неравномерности толщины покрытия по длине образца истинная дуга будет немного отличаться от дуги круга, но для практических целей это различие незначительно.

**Расчет величины внутренних напряжений.** По первому способу расчет ведется по стрелке дуги [1]. Образец до покрытия кладется на две призмы. Над ними посередине жестко закрепляют в штативе микрометр и доводят его стержень до касания с образцом. Полученное показание микрометра принимают за исходный нуль. После покрытия образец помещают на те же призмы и замеряют стрелку прогиба тем же микрометром, не изменяя его первоначальное крепление в штативе. Чтобы точнее уловить момент соприкосновения стержня микрометра с образцом, полезно соединить призмы и микрометр проволокой в одну цепь с сигнальной лампочкой и низковольтным источником тока (все последовательно, но с разрывом между призмами и микрометром). При соприкосновении микрометра с тонким образцом лампочка загорится раньше, чем излишний нажим микрометра прогнет образец.

Расчет ведется по формуле

$$\sigma = \frac{4E(\delta + d)^3 f}{3l^2 \delta d},$$

где  $\sigma$  — внутренние напряжения, Па;  $E$  — модуль упругости основного металла, Па;  $\delta$  — толщина основного металла, мм;  $d$  — толщина покрытия, мм;  $l$  — расстояние между призмами, мм;  $f$  — стрела прогиба, мм.

Другой способ [1] основан на измерении отклонения по горизонтали нижнего конца образца, жестко закрепленного своим верхним концом в вертикальном положении. Отклонение конца от вертикали измеряют катетометром или любым другим точным прибором.

Расчет ведется по формуле

$$\sigma = \frac{1}{3} E \frac{\delta^2 z}{dL^2},$$

где  $L$  — длина рабочей части образца, мм;  $z$  — отклонение нижнего конца образца от вертикали, мм.

### 38. Влияние режима покрытия на механические свойства никелевых покрытий из сульфатных электролитов

Внутренние напряжения в покрытиях из сульфатных электролитов, помимо влияния на них специальных добавок, плотности тока и температуры, по-видимому, очень сильно зависят еще и от различных загрязнений. Приблизительно можно принять, что в ваннах с концентрацией сульфата никеля 300—400 г/л при низких катодных плотностях тока (порядка 4 А/дм<sup>2</sup>) добавка 7,5 г/л натриевой соли нафталин-1,3,6-трисульфоновой кислоты при температуре 50 °С дает растягивающие напряжения, примерно

в 10—15 раз меньше, чем в широко распространенной за рубежом сернокислой ванне Уаттса.

Однако при работе с анодами из неактивированного электролитического никеля катодная плотность тока не должна превышать  $19 \text{ А/дм}^2$ , при более высоких плотностях катодного тока плотность тока на этих анодах соответственно тоже увеличивается и вызывает их пассивирование. При пассивировании анодов выход по току на них падает ниже 99 % и происходит окисление сульфаминовой кислоты до азодисульфоната и других сернистых соединений, соосаждающихся с никелем на катоде и повышающих внутренние растягивающие напряжения. Такое окисление происходит как в обычных ваннах, так и в ваннах Кендрика при работе с электролитическими анодами при больших плотностях тока. Аноды, активированные серой, позволяют вести электролиз на верхнем пределе катодной плотности тока.

В ванне Кендрика специальные добавки для изменения величины и направления внутренних напряжений не нужны. Их можно регулировать изменяя катодную плотность тока. Ниже приведены режимы, при которых ванна дает покрытия, практически свободные от внутренних напряжений: это точки перехода растягивающих напряжений (при меньших плотностях тока) в сжимающие (при больших плотностях тока).

Температура, °С	35	40	45	50	55	60	65	70
Катодная плотность тока, $\text{А/дм}^2$ . .	1,1	2,7	4,3	8,1	13,5	18	22	32
Скорость осаждения, мкм/ч	12	31	50	94	156	206	250	375

**Влияние температуры на работу сульфаматных электролитов.** При неизменной плотности тока с повышением температуры внутренние напряжения переходят из растягивающих в сжимающие. Например, при катодной плотности тока  $6,5 \text{ А/дм}^2$  внутренние напряжения изменяются следующим образом:

Температура, °С . . . . .	34	40	48	60
Внутренние напряжения, Па	137	49	18	77

Внутренние напряжения при температурах 34 и  $40^\circ\text{С}$  растягивающие, а при  $48\text{—}60^\circ\text{С}$  — сжимающие. Рабочая температура «обычной» сульфаматной

ванны 50—60 °С, температуру «быстрой» ванны Кендрика можно поднимать и до 70 °С, что позволяет увеличить катодную плотность тока, но поднимать температуру еще выше не следует во избежание усиления гидролиза сульфаминовой кислоты (при нормальных условиях электролиза гидролиза можно не опасаться).

**Влияние режима на твердость покрытия из сульфаматных ванн.** Твердость покрытия из «быстрой» ванны с повышением плотности тока несколько растет, достигая 240—270 *HV* при 5,4 А/дм<sup>2</sup>, а затем медленно снижается до 210—230 *HV*.

Величины твердости покрытий из обычных сульфаматных ванн, приводимые разными авторами, довольно разноречивы, но, по-видимому, при кислотности рН 3,5—5,0 и плотности тока 4,3 А/дм<sup>2</sup> твердость составляет около 150—180 *HV*, несколько увеличиваясь при больших плотностях тока, а при повышении рН выше 5,0, по данным некоторых авторов, резко возрастает до 400—450 *HV* при 50 °С.

### 39. Эксплуатация сульфаматных электролитов

**Приготовление электролитов для сульфаматных ванн.** Сульфаматные электролиты нужно готовить из возможно более чистых химикатов, но и при чистых материалах свежеприготовленную ванну до пуска в работу надо предварительно дополнительно очистить. В технической литературе предлагаются два варианта приготовления электролита, незначительно отличающиеся друг от друга не столько по существу, сколько по технике выполнения.

**В а р и а н т I.** В чистой ванне растворяют расчетное количество сульфамата никеля в половинном объеме воды, нагревают до 60 °С, добавляют хлорид никеля и борную кислоту, затем добавляют воды и доводят до нормального объема. Для очистки электролита от тяжелых металлов при непрерывном помешивании раствора, все время подогреваемого до 60 °С, добавляют взмученный углекислый никель, пока рН не поднимется до 5,5, приливают 30 %-ную перекись водорода из расчета 1,2 мл на 1 л раствора и продолжают перемешивание при 60 °С еще не менее 4 ч. После этого для очистки от органических примесей вводят в раствор по

2—5 г активированного угля на 1 л раствора и продолжают перемешивание при 60 °С в течение 8 ч, дают отстояться, фильтруют в рабочую ванну и доводят рН до нормальной величины добавлением 10 %-ного раствора сульфаминовой кислоты  $\text{NH}_2\text{HOSO}_2$ . Не следует брать для этой цели более концентрированные растворы сульфаминовой кислоты, так как ее растворимость в воде невелика. Для удаления остатков металлических загрязнений производят селективную очистку раствора, прорабатывая его током при катодной плотности тока не более 0,5 А/дм<sup>2</sup> со стальными катодами возможно большей площади (желательно гофрированными) до тех пор, пока покрытие не станет равномерным и чистым. После этого ванну можно пускать в работу.

При эксплуатации ванны нужно производить ее селективную очистку не реже раза в неделю, при интенсивной работе — непрерывно. Непрерывными должны быть во всех случаях перемешивание и фильтрация.

**В а р и а н т II.** Растворяют в части воды сульфат никеля, нагревают до 60 °С, растворяют при помешивании хлорид никеля и борную кислоту, добавляют воды до плотности 1355 кг/м<sup>3</sup>, профильтровывают через активированный уголь, затем прорабатывают в два приема: 1) при катодной и анодной плотностях тока 0,5 А/дм<sup>2</sup>; 2) при анодной плотности тока 0,5 А/дм<sup>2</sup> и катодной 4,0 А/дм<sup>2</sup>. Аноды — обрезки электролитического никеля в титановой корзине. Катод изготовлен из гофрированного никелированного железа. Непрерывное перемешивание обязательно. Обычно достаточно пропустить 36 кКл/л (10 А·ч/л) в первой стадии и 108 кКл/л (30 А·ч/л) — во второй, иногда и меньше. Правильно обработанный электролит должен при плотности тока 5 А/дм<sup>2</sup> и 60 °С дать блестящее покрытие со сжимающими внутренними напряжениями 14—48 МПа.

Электролит Кендрика со временем стареет и внутренние напряжения становятся растягивающими. Для противодействия этому нужно непрерывно или периодически прорабатывать электролит, лучше в отдельной ванне для селективной очистки, расположенной несколько выше рабочей ванны и имеющей объем примерно 10—20 % от рабочей ванны. Содержащийся в рабочей ванне раствор должен обмениваться (при пере-

качке через ванну селективной очистки) 2—5 раз за 1 ч. Аноды из электролитического никеля находятся в титановой корзине или катаные электролитические — на титановых крюках; катоды — из гофрированного никеля или никелированной стали. Плотность тока на катоде и на аноде 0,5—1,0 А/дм<sup>2</sup>. Площадь катода должна быть такой, чтобы ток в ванне селективной очистки составлял не менее 3 % от тока рабочей ванны.

**Оборудование ванн с сульфаматным электролитом.** Свинцовая соль сульфаминовой кислоты легко растворима в воде и очень вредна для работы никелевого электролита. Поэтому в сульфаматной ванне недопустимы никакие свинцовые предметы, футеровка, змеевики, даже грузики для удержания пластмассовых барботеров от всплывания. Неустойчиво в сульфаматной ванне железо, недостаточно стоек и титан — делать из него змеевики нельзя, но титановые анодные корзины достаточно коррозионно устойчивы при условии, что они всегда плотно и доверху набиты никелевыми обрезками — никель образует с титаном гальваническую пару, в которой никель является растворимым электродом и защищает титан от коррозии.

Воздушные барботеры можно делать из винипласта, хотя рабочая температура сульфаматных ванн (50—70 °C) близка к пределу тепловой стойкости винипласта. Пригодны также кислотостойкая резина, полиэтилен, неопрен. Грузы на барботерах должны быть изготовлены из фарфора, керамики или никеля, нагревательные змеевики и теплообменники — из керамики или, в крайнем случае, из никеля.

Электрические нагреватели можно помещать в фарфоровые или кварцевые чехлы. При расчете электрических нагревателей надо задаться возможно более низкой концентрацией теплоты их поверхности, чтобы не было местных перегревов соприкасающегося с ними электролита и вызванного этим гидролиза сульфамата никеля. Нагреватели лучше устанавливать не в рабочей ванне, а в цепи циркуляции раствора через фильтр и ванну селективной очистки или в самой ванне селективной очистки.

Электролит в сульфаматных ваннах обязательно должен непрерывно перемешиваться. Можно применять воздушное перемешивание тщательно очищенным от

масла и пыли и промытым водой воздухом в количестве 6 л на 1 дм<sup>2</sup> поверхности зеркала электролита в минуту или до 20 л в минуту на 1 дм длины катодной штанги. Но лучше пользоваться механической мешалкой, в особенности при толстых покрытиях; она надежней предотвращает образование питтинга, особенно если она быстроходная. Материал мешалки — хромоникель-молибденотитановая сталь. В ваннах с механическим перемешиванием фильтрование может быть периодическим. В ваннах с воздушным перемешиванием фильтрование должно быть непрерывным, весь объем раствора ванны должен проходить через фильтр не более чем за один час. Вытяжная вентиляция необязательна, разве что для удаления водяных паров над горячей ванной.

Источник тока в обычных ваннах достаточен на 6—9 В, в ванне Кендрика при больших плотностях тока могут понадобиться 12 В и даже больше.

#### **40. Никелевые специальные покрытия**

В понятие специальные покрытия входят покрытия, основным назначением которых является использование не столько декоративных и антикоррозионных свойств материала покрытия, сколько его механических свойств, таких как твердость, сопротивление износу, малый коэффициент трения, малый коэффициент смачиваемости, высокий коэффициент отражения или, наоборот, сильное рассеивание и поглощение света, способность не заедать в тесном контакте с другими металлическими поверхностями, хорошая электропроводность или, наоборот, электроизолирующая способность, хорошая спайваемость мягкими припоями и многих других.

Однако при этом отнюдь не пренебрегают и защитно-декоративными свойствами покрытий, хотя они и отходят на второй план. От деталей механизмов помимо перечисленных выше механических свойств в очень многих случаях требуется также и коррозионная стойкость, а иногда даже и красивый внешний вид.

**Механические свойства специальных никелевых покрытий.** Из сернокислых ванн могут быть получены покрытия с твердостью от 150 до 450 HV. Это самое

твердое покрытие осаждается из ванны, содержащей 180 г/л сернокислого никеля, 25 г/л хлористого аммония и 30—40 г/л борной кислоты при рН 5—5,9.

В сульфаматных ваннах могут быть получены покрытия примерно в тех же интервалах твердости. По данным некоторых авторов, из обычных сульфаматных ванн могут быть получены даже несколько более твердые покрытия — до 500 HV при рН > 5,0 и добавке 11 г/л натриевой соли нафталин-1,3,6-трисульфоновой кислоты и еще немного более твердые при добавке сахара.

Характеристика сцепления толстых специальных никелевых покрытий с различными основными металлами приведена в табл. 10.

Таблица 10. Сцепление никелевого покрытия с основными металлами

Основной металл	Отрывающее давление, МПа	Место отрыва
65-никельхроммолибденовая сталь	804	Никель
Алюминий	539	Основной металл
Никелевая сталь (3 %-ная)	495	» »
Мягкая сталь	431	» »
Дюраль	371	» »
Латунь 70/30	363	» »
Цементированная каленая сталь	339	Слой цементации
Латунь 60/40	296	Основной металл
Медь (волооченая)	286	» »
Фосфористая бронза	231	» »
Литой чугун	108	» »

Никель по своим антифрикционным свойствам уступает многим другим металлам, применяемым в машиностроении для сопряженных, трущихся деталей. Так как способность деталей к совместной работе зависит не только от коэффициентов трения их поверхностей, то привести цифровые данные для определения пригодности никелевого покрытия для трущихся деталей затруднительно. Ограничимся только качественной

характеристикой пригодности никелевых покрытий для этой цели.

Никелевые покрытия удовлетворительно работают в паре с оловянной бронзой, латунью, баббитом и непригодны для работы с кобальтом и некоторыми марками стали, фосфористой бронзой и хромом.

**Дополнительная обработка специальных никелевых покрытий для снятия водородной хрупкости.** Стали с сопротивлением на разрыв менее 1000 МПа можно термически не обрабатывать, стали с сопротивлением на разрыв от 1000 до 1800 МПа выдерживать при температуре 190—230 °С не менее 6 ч, для более прочных сталей выдержка при той же температуре должна быть не менее 18 ч. Эти рекомендации не относятся к тонким защитно-декоративным покрытиям.

При твердости покрытия меньше 400 *HV* доводку можно производить точением или фрезерованием острым инструментом из быстрорежущей стали. Напайные резцы с карбидными вставками сдирают никель. Обработка ручными инструментами типа разверток очень трудна из-за вязкости никелевого покрытия. При твердости покрытия выше 400 *HV* приемлемо только шлифование кругами с открытой структурой при окружной скорости от 1500 до 2000 м/мин с охлаждением масляной эмульсией.

Следует предостеречь от применения распространенного способа возобновления прерванного при случайном перерыве тока никелевого покрытия путем нанесения между старым и новым слоем никеля тонкой медной прослойки — при механической обработке происходит сдирание верхнего слоя никеля по медной прослойке. Очевидно это же возможно и при эксплуатации слоя «инженерного» никелевого покрытия с медной прослойкой за счет касательных усилий, возникающих при работе детали. При опасении возможного перерыва тока следует применять устройство, описанное в гл. 4.

#### **41. Композиционные покрытия сил-никель**

Покрытие сил-никель применяется в качестве внешнего слоя никелевого покрытия, по которому предполагено нанести слой микропористого хрома (см. гл. 13). Сил-никель представляет собой тонкий слой никеля,

на поверхности которого вкраплены очень мелкие включения какого-либо непроводящего, нерастворимого в воде, неорганического порошка. Соосаждение металлического никеля и непроводящего порошка достигается путем взмучивания порошка в электролите при интенсивном перемешивании последнего. Разумеется, этот порошок увлекается и осаждается во всей толщине слоя сил-никеля, но так как толщина этого слоя очень мала, то присутствие в нем неметаллических частиц не вызывает вредного воздействия на лежащий под ним основной слой никеля, а его влияние на положенный сверху слой хрома обуславливает повышение коррозионной стойкости и износостойкости покрытия в зависимости от применяемого абразивного материала. Для покрытия сил-никелем ГОСТ 9.047 рекомендует следующий электролит и режим работы: никель сернокислый — 250—300 г/л; никель хлористый — 50—60 г/л; борная кислота — 25—40 г/л; 1,4-бутиндиол (100 %-ный) — 0,15—0,18 г/л; сахарин — 1,0—1,5 г/л; каолин с размером частиц 0,1—3,0 мкм — 0,1—3,0 г/л; рН 3,0—4,0; температура 50—60 °С; катодная плотность тока — 5—6 А/дм<sup>2</sup>; толщина покрытия 1—3 мкм. Осаждение ведут при непрерывном перемешивании воздухом, подаваемым в количестве по 20 л в 1 мин на каждый 1 дм длины катодной штанги. Непрерывное фильтрование не производят, чтобы не терять каолин (при необходимости периодически профильтровывать электролит, в него после фильтрования нужно вновь ввести каолин).

Слой сил-никеля кладут поверх обычного никелевого покрытия, как правило, блестящего. Переносить детали из ванны блестящего никеля в ванну сил-никеля нужно быстро и без промежуточной промывки, в противном случае возможно отслаивание одного никелевого покрытия от другого.

Ряд авторов исследовали коррозионную стойкость микропористого хрома, положенного поверх никелевого композиционного покрытия с включением инертных (непроводящих) частиц, и нашли, что наилучшие результаты дает включение в никелевое покрытие окиси алюминия в виде зерен размером 0,5—2 мкм (0,4 мкм — 74 %; 0,1—1 мкм — 21,5 %; 1—2 мкм — 4,5 %); на втором месте оказался каолин при той же величине

зерна; на третьем месте — окись кремния (от 0,4 до 4,0 мкм).

Другая группа исследователей, работавшая с включением в никелевое покрытие частиц карбида кремния диаметром порядка 3 мкм, считает наилучшими условиями соосаждения высокую концентрацию инертных частиц в электролите (до 150 г/л) и оптимальное содержание их в покрытии 2,5—5 %; рН никелевого электролита 5. При этом твердость покрытия (за счет твердости карбида кремния) доходит до 600 HV, что и было назначением этого типа композиционного покрытия (а не антикоррозионные свойства нанесенного сверху хрома). Наилучшим способом перемешивания они считают одновременное применение воздушного перемешивания и качания штанг. Несмотря на несколько различное назначение этих типов композиционных никелевых покрытий, условия соосаждения никеля и инертных частиц, в основном, одинаковы, поэтому интересно сопоставить все эти, несколько различные, рекомендации.

По данным Матулиса, оптимальная концентрация инертных частиц (окиси алюминия) в электролите 20 г/л, минимальная — 5 г/л.

## **42. Загрязнения в никелевых электролитах**

Никелевые электролиты всегда были наиболее чувствительны к загрязнениям, однако раньше, при небольших плотностях тока требования к чистоте электролита, к допустимым концентрациям металлических загрязнений были менее жесткими, чем в современных серноокислых ваннах, работающих при более высоких плотностях тока. К тому же, вследствие большей толщины применяемых покрытий, от них теперь требуют и более высоких механических качеств, а даже небольшие количества загрязнений часто вызывают чрезмерную твердость никелевого покрытия, сочетающуюся с малым удлинением (при разрыве), повышение внутренних растягивающих напряжений, ухудшение рассеивающей способности, уменьшение катодного выхода по току, а также различные поверхностные дефекты, такие как пористая шероховатость, подгар или полосчатость.

Известны четыре, наиболее часто попадающих в никелевую ванну, металлических загрязнения: медь, цинк, железо и хром. Медь придает никелевому покрытию темный цвет. Правда, по мере эксплуатации такого загрязненного электролита он постепенно очищается от меди благодаря тому, что медь, имеющая более положительный стандартный потенциал, осаждается на катоде совместно с никелем (хотя прежде чем она выделится полностью, она может вызвать порчу изрядного количества деталей).

Цинк, при небольшой концентрации, вызывает появление черных точек на никелевом покрытии, при большей концентрации образуются черные полосы и, наконец, наступает даже сплошное почернение покрытия. Цинк (и кадмий) резко увеличивает поглощение водорода никелевым покрытием.

Ионы железа вызывают повышение напряжения никелевого покрытия и увеличивают его хрупкость, а образующийся при гидролизе коллоидный гидрат закиси железа служит, по-видимому, наиболее частой причиной питтинга.

Шестивалентные ионы хрома, даже в малых количествах, очень сильно снижают выход никеля по току. Три части  $\text{CrO}_3$  на 1000 частей раствора могут вывести из строя никелевую ванну.

При попадании в ванну фосфатов из плохого активированного угля, примененного при очистке раствора, могут получаться подгоревшие покрытия даже при небольшой плотности тока.

К этим неорганическим загрязнениям присоединяется довольно значительный ассортимент органических загрязнений. Так, например, давно известно вредное воздействие на покрытие белковых веществ: желатины, столярного клея (известны случаи, когда никелевый электролит приходилось вылить после падения в него куска абразивной шкурки, изготовляемой, как известно, на клею), нескольких капель крови из порезанного пальца и т. п. Известно и вредное действие таннина (из дубовых и даже некоторых лиственных пород дерева, использованных для изготовления бачков, фильтровальных рамок и т. п.), крахмала (из непростиранных анодных чехлов из натуральных тканей) и многих других.

В последние десятилетия в связи со все расширяющимся применением различных органических добавок — блескообразователей, выравнивателей, смачивателей и др., появился новый источник органических загрязнений, которым являются не только продукты распада этих добавок, но и сами добавки, если их концентрация в электролите по недосмотру или по другим причинам превысила норму. Добавки улучшают покрытия только в узких пределах их рецептурных концентраций, их избыток отрицательно влияет на покрытия.

**Максимально допустимые концентрации загрязняющих тяжелых металлов в сернокислом никелевом электролите.** При работе с не очень большими катодными плотностями тока ( $3\text{--}5\text{ А/дм}^2$ ) можно принять как максимально допустимые следующие концентрации металлических загрязнений: меди — не более 5 мг/л; цинка — менее 10 мг/л в электролите и соответственно — не больше 0,01 % в никелевой соли (небольшое превышение этого предела при плотности тока  $1\text{ А/дм}^2$  уже вызывает появление на детали черных точек). Предельно допустимую концентрацию железа трудно назвать точно, ибо литературные указания на этот счет разноречивы, по-видимому, она не должна достигать 0,075 г/л. Даже и при таком содержании оно увеличивает внутренние напряжения в покрытии и вызывает питтинг, а поглощение водорода железным катодом, ведущее к его хрупкости, резко возрастает уже при содержании 0,022 г/л железа в электролите. Содержание железа в количестве 0,9 г/л вызывает растрескивание никелевого покрытия. Поэтому лучше принять за допустимый предел 0,02 г/л, хотя это и может потребовать частой очистки.

Хром (шестивалентный ион) снижает выход никеля по току уже при концентрации 50 мг/л. Максимально допустимая его концентрация равна 5 мг/л.

**Способы определения причин, вызвавших дефекты при покрытии.** Хотя перечисленные в п. 42 дефекты покрытия наиболее характерны для какого-нибудь одного из упомянутых четырех металлов, но очень часто и другие металлы из этой группы вызывают аналогичные дефекты, истинную причину которых вследствие этого трудно установить. А еще чаще аналогичные де-

фекты вызываются органическими загрязнениями. Чтобы составить себе более достоверное представление о том, какое загрязнение явилось причиной наблюдающегося дефекта покрытия, полезно проделать следующий простой контрольный опыт.

Отлейте немного электролита из ванны, дающей дефектное покрытие, в маленькую ванночку и покройте в ней стальной образец в том режиме, в котором в производственной ванне получалось дефектное покрытие. Затем добавьте в ванночку 10 мл/л 0,1 н. раствора трилона Б (обычно применяемого в аналитической химии раствора этилендиаминтетрауксуснокислого натрия) и покройте второй образец в том же режиме, что и первый.

Трилон свяжет тяжелые металлы, но не воздействует на органические загрязнения. Поэтому, если дефекты, например темные пятна, появятся и на втором образце, значит причиной их являются не тяжелые металлы, а органические загрязнения. Если же пятен на втором образце не будет, следовательно, электролит загрязнен медью или цинком. Медь от цинка можно отличить по наличию розового налета, появляющегося на никелевых анодах, оставленных в ванне на время длительного перерыва в ее работе, заметное осаждение цементной меди происходит при весьма малом содержании ее в электролите. Если же после такой обработки раствора в опытной ванне темные пятна только ослабнут, но не исчезнут полностью, значит в ванне присутствуют и тяжелые металлы, и органические загрязнения.

Причину ненормальных внутренних напряжений можно определить аналогичным способом, применив в качестве катодов тонкие изолированные с одной стороны пластинки и удалив из ванны, перед покрытием второго образца, железо по описанному выше способу.

Во всех случаях, в качестве дополнительного контроля, можно перед покрытием второго, или лучше, третьего образца удалить предварительно из электролита в опытной ванночке органические примеси активированным углем по способу, описанному ниже.

Более надежный ответ на вопрос о наличных загрязнениях в ванне может, конечно, дать химический анализ электролита, но это путь более длительный.

Вредные загрязнения в сульфаматной ванне, их влияние на покрытие и допустимые концентрации. Считается, что требования, предъявляемые к чистоте электролита сульфаматной ванны, должны быть значительно жестче, чем к сернокислой, что мотивируется как применением больших плотностей тока, так и желанием контролировать внутренние напряжения в покрытии. Однако, если сравнить приведенные выше предельно

Таблица 11. Загрязнения в сульфаматном электролите, их влияние на покрытие и предельно допустимые концентрации

Загрязняющие вещества	Воздействие на покрытие	Приближительная предельно допустимая концентрация, мг/л
Железо	Повышенные твердость и внутренние напряжения, плохие эластичность, рассеивающая способность и сцепление	200
Медь	Малые эластичность, рассеивающая способность и катодный выход по току, темный цвет	10
Цинк	Малый катодный выход по току, плохое сопротивление растяжению, поры и полосы, повышенная твердость	10
Свинец	Пористые (губчатые) покрытия после прогрева, малая твердость	2
Алюминий	Подгар покрытия	6
Хром (III) и (VI)	Малый катодный выход по току, снижение твердости, плохая эластичность	2
Органические примеси	Пятна и непокрытые участки на покрытии, малая рассеивающая способность, пористые, темные покрытия	—
Органические соединения серы (в слишком большом количестве)	Пористые покрытия	—
Смачиватели (в слишком большом количестве)	Уменьшение допустимой катодной плотности тока, увеличение шишковатости покрытия	—

допустимые концентрации в сернокислых электролитах меди, цинка и хрома с приводимыми в табл. 11, заимствованными из английского источника, то обнаружится, что для сульфаматных ванн загрязнения медью, цинком и хромом допускаются практически в тех же пределах, что и для сернокислых, а присутствие железа в сульфаматных ваннах разрешается в количестве почти в три раза большем, чем в сернокислых. Отсюда можно сделать вывод, что к сульфаматным и к сернокислым электролитам предъявляются одинаковые требования по чистоте, но с дополнительным учетом специфической вредности для сульфаматных ванн свинца и алюминия, которые для сернокислых ванн практически не вредны.

Ниже приводятся значения концентраций минеральных загрязнений (мг/л), вызывающих в покрытии одинаковые изменения внутренних растягивающих напряжений (на 6,9 МПа). В отличие от данных табл. 11 эти концентрации загрязнений отнюдь не являются допустимыми пределами для получения доброкачественных покрытий, а только сравнительными концентрациями, дающими одинаковый эффект изменения величин внутренних напряжений, хотя качество покрытия при такой концентрации загрязнений может оказаться неудовлетворительным:

Железо .	300	Кальций .	1000
Кобальт	125	Калий	400
Медь . .	200	Магний	100
Марганец	200	Цинк .	150
Аммоний	500	Хромат	1
Сульфат	1000	Олово	2
Фосфат	5	Свинец	10
Нитрат	5	Натрий . . . . .	3000
Сера	5	Серебро (осаждается в шлам)	—

#### 43. Очистка никелевых электролитов от неорганических и органических загрязнений

**Очистка от железа.** Некоторое количество железа может быть удалено селективной обработкой. Однако удалить его полностью этим способом не удастся, по меньшей мере 0,05 г/л все же останется в растворе. Более полное удаление железа достигается при окислении

присутствующих в электролите его двухвалентных ионов до трехвалентных, гидролиза трехвалентных солей и отфильтровывания выпавшего осадка гидрата окиси железа.

Делать это надо так: нагревают электролит до 70 °С, подщелачивают до  $\text{pH} = 6,0$  добавкой кальцинированной соды или углекислого никеля, приливают 30 %-ный раствор перекиси водорода из расчета 1 мл на 1 л электролита, интенсивно перемешивают сжатым воздухом или механической мешалкой не менее 1—3 ч, дают отстояться в течение 8 ч и фильтруют.

Способ годится как для серноокислых, так и для сульфаматных ванн. В тех случаях, когда электролит содержит органические добавки (блескообразователи, смачиватели и т. п.), при очистке его от железа окислителем возможно полное или частичное разрушение этих органических примесей. Надо проверить работу электролита после очистки на образце и, если окажется нужным, добавить органические компоненты.

Вместо перекиси водорода в качестве окислителя можно применить перманганат (марганцовокислый калий) в количестве 2 г/л, хотя при той слабой кислотности, которая нужна для осаждения железа ( $\text{pH} = 6,0$ ), перманганат работает несколько хуже. При пользовании перманганатом может остаться коричневая окраска электролита, которую нужно удалить (до фильтрования) добавкой перекиси водорода до восстановления нормального зеленого цвета раствора. После обработки перманганатом дать раствору отстояться и отфильтровать его так же, как при работе с перекисью водорода.

**Селективная очистка от тяжелых металлов.** Селективная очистка заключается в проработке ванны при низкой плотности тока (обычно 0,1—0,2 А/дм<sup>2</sup>) с никелевыми анодами и большой поверхностью железных катодов, желательно, при интенсивном перемешивании. Основан этот способ на том, что при малой катодной плотности тока облегчается выделение многих загрязняющих металлов вместе с никелем. Процесс этой очистки медленный (до нескольких дней — в зависимости от степени загрязненности), но он эффективен и не трудоемок. Конечно, значительная доля тока идет на осаждение никеля, а так как осевший на катодах

слой никеля содержит все извлеченные из ванны тяжелые металлы, то его нельзя использовать как анод или для переработки на никелевые соли, а разумней всего сдать на переплавку. Способ пригоден для всех никелевых электролитов при не слишком большой концентрации загрязняющих металлов.

**Очистка никелевых электролитов от органических загрязнений.** Способ очистки активированным углем основан на свойстве активированного угля адсорбировать многие органические загрязнения и прочно их удерживать. В электролит, нагретый до 50—70 °С, добавляют по 2—5 г/л, а при сильных загрязнениях и до 15 г/л активированного угля, выдерживают 8 ч при этой температуре и при непрерывном механическом или воздушном перемешивании, дают отстояться, затем отфильтровывают от угля. Операцию очистки лучше производить в отдельной ванне. Если же ее приходится делать в рабочей ванне, то надо вынуть из нее на это время аноды, а после фильтрования раствора и освобождения рабочей ванны от него нужно ее тщательно отмыть от остатков угля, которые иначе могут взмучиваться при работе ванны и давать шероховатые покрытия.

Некоторые органические загрязнения лучше удаляются активированным углем, если их предварительно окислить таким же способом, который предложен для очистки электролита от железа. Поэтому в случае наличия в электролите разнообразных органических загрязнений или загрязнений, плохо адсорбирующихся углем, имеет смысл произвести трехстадийную очистку: сначала произвести очистку углем, потом окислить железо (эта операция всегда полезна для никелевой ванны, даже если железа в ней меньше допустимого предела, а в данном случае она нужна для одновременного окисления органических загрязнений) и, наконец, повторить обработку активированным углем.

Из выпускаемых нашей промышленностью марок активированных углей наиболее пригоден уголь активный КАД (зерненный), поскольку он специально предназначен для очистки никелевых солей от органических загрязнений. Можно применять также уголь активный БАУ (ГОСТ 6217—74) или уголь активный древесный молотый марки МД, или уголь активный

гранулированный марки СКТ, или уголь осветляющий древесный (ГОСТ 4453—74).

Если электролит (по рецептурному составу) не содержит органических добавок или содержит только такие, которые слабо адсорбируются активированным углем, то обработку электролита углем можно объединить с его непрерывным фильтрованием через активированный уголь. При наличии же органических добавок фильтровать можно только периодически, ибо после каждого фильтрования приходится доводить концентрацию органических добавок до ее рецептурного значения.

Для подготовки фильтра нужно размешать в воде или в порции электролита некоторое количество активированного угля (около 1—3 г/л) и пропустить эту смесь через фильтр с обычно применяемым чистым фильтрующим материалом. Собранный фильтрат повторно пропускают через тот же фильтр несколько раз, пока фильтрат не получится совершенно прозрачным. Фильтром, с осевшим на нем слоем угля, можно пользоваться для периодической или непрерывной очистки электролита от органических загрязнений.

Расход угля составляет обычно (при его смене на фильтре раз в день) не больше 0,25—0,5 г на 1 л пропущенного через фильтр электролита. В случае, если в ванне накапливается большое количество шлама, перед фильтром со слоем активированного угля полезно установить обычный фильтр и прокачать электролит через оба эти фильтра последовательно.

Способ очистки активированным углем и два других способа, о которых будет сказано ниже, не вполне универсальны. А так как обычно неизвестно, с каким загрязнением приходится иметь дело, то рекомендуется сделать пробную очистку сначала в маленькой ванночке, может быть, даже всеми тремя способами и выбрать для очистки рабочей ванны тот из них, который дал в опытной ванночке наилучшие результаты.

Два других способа — это сульфирование органических загрязнений сернистым ангидридом ( $\text{SO}_2$ ) или кислым сернистокислым натрием (бисульфитом натрия  $\text{NaHSO}_3$ ) или окисление марганцовокислым калием (перманганатом  $\text{KMnO}_4$ ). Обработка сернистым ангидридом — операция неприятная, лучше применять кис-

лый сернистоокислый натрий. При обработке надо нагреть электролит до 40—50 °С, прилить разбавленной химически чистой серной кислоты такой концентрации, чтобы  $\text{pH} \approx 1,0$ , добавить 4—5 г/л бисульфита натрия (иногда при сильном загрязнении органическими веществами может понадобиться и большая доза), интенсивно размешать электролит сжатым воздухом и продолжать перемешивание в течение 8 ч или, по крайней мере, дать отстояться не менее 8 ч. Обработку можно считать законченной, когда перестанет ощущаться запах сернистого газа ( $\text{SO}_2$ ), который сильно чувствовался при загрузке в ванну бисульфита. Затем довести  $\text{pH}$  до нормального значения, профильтровать раствор, по возможности, через слой активированного угля, нанесенного на фильтрующий материал, добавить согласно рецепту блескообразователь, смачиватель, выравниватель и прочие органические компоненты, если они нужны, и ванна готова к работе.

Окисление органических загрязнений перманганатом выполняют так: снижают  $\text{pH}$  раствора примерно до 2,0—3,0 введением разбавленного раствора химически чистой серной кислоты, добавляют перманганат в количестве, предварительно установленном пробной обработкой в маленькой ванночке небольшой порции раствора из дефектной производственной ванны, интенсивно перемешивают в течение получаса, дают отстояться, отфильтровывают и доводят  $\text{pH}$  до нормального значения углекислым никелем. Если после фильтрации электролит сохраняет еще коричневый оттенок, добавляют при помешивании перекись водорода до восстановления нормального зеленого цвета и органические компоненты, указанные в рецепте, если они нужны. Ванна готова к работе.

Часто после применения первого или второго из этих способов очистки оказывается необходимой и описанная выше очистка активированным углем.

## **Глава 12. МЕДНЕНИЕ**

Серноокислый электролит для меднения — старейший электролит гальванотехники, его применял еще в 1838 г. изобретатель гальванопластики Б. С. Якоби.

Этот электролит несмотря на его недостатки и сейчас наиболее часто применяется в промышленности для меднения. Позже появились цианистые электролиты, а в последнее время было разработано много разнообразных кислых и слабощелочных электролитов.

При своих больших достоинствах сернокислый электролит обладает и существенным недостатком — он не позволяет осаждать медь непосредственно на сталь, как это может делать ядовитый цианистый электролит. Усилия большинства разработчиков современных медных электролитов направлены именно на поиски неядовитых электролитов, допускающих непосредственное меднение стали.

#### 44. Сернокислый электролит для меднения

**Компоненты раствора.** Состав сернокислого электролита чрезвычайно прост, в него входят только два компонента — медный купорос (сернокислая медь  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) и серная кислота ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Медный купорос служит источником ионов металла покрытия, а серная кислота нужна для предотвращения гидролиза медного купороса и для увеличения электропроводности раствора. Иногда применяют органические добавки для сглаживания покрытия и придания ему блеска.

**Рецептура.** В любой книге по гальванотехнике в главе о меднении приводится классический рецепт сернокислой медной ванны (г/л):

Медь сернокислая	200—250
Серная кислота	50—70

Однако при эксплуатации этого электролита следует иметь в виду, что растворимость медного купороса снижается по мере увеличения концентрации серной кислоты. Растворимость медного купороса в зависимости от содержания серной кислоты выражается следующим образом:

Растворимость медного купороса, г/л	352	326	304	285	267	250	230	212
Концентрация серной кислоты, г/л	0	24,5	49	73,5	98,1	122,6	147,1	171,6

В связи с изложенным следует рассматривать рецепт кислой медной ванны не как допуск компонентов

от и до, а как два самостоятельных рецепта: либо купороса 200 г/л и кислоты 70 г/л либо купороса 250 г/л и кислоты 50 г/л. Но работа электролитов при температуре выше комнатной (25 °С) возможна и при больших концентрациях компонентов, ибо с повышением температуры возрастает растворимость и кислоты, и купороса.

**Режим работы.** При 25 °С ванна допускает работу с катодной плотностью тока до 3 А/дм<sup>2</sup>. При повышении температуры до 35—40 °С и интенсивном перемешивании можно поднять плотность тока до 5 А/дм<sup>2</sup>, а на деталях очень простого профиля — и выше, но во избежание появления грубокристаллического покрытия при повышенной температуре нужно увеличить содержание серной кислоты до 75 г/л на 250 г/л купороса (учитывая при этом возможность кристаллизации купороса при охлаждении ванны).

#### 45. Загрязнения в сернокислой медной ванне

Из тяжелых металлов наиболее вредны мышьяк и сурьма, которые могут попасть в электролит из медных анодов. Значительно менее вредно железо, но зато оно легко накапливается в ванне в весьма больших количествах, если в ней покрываются сложнопрофилированные изделия, предварительно никелированные; никелевое покрытие в труднодоступных для покрытия участках таких изделий может оказаться недостаточно толстым и пористым, а может и полностью отсутствовать — в таких местах железо детали будет растворяться даже на катоде. При неаккуратной работе упавшие в ванну и не извлеченные немедленно детали, естественно, тоже могут послужить источником загрязнения ванны железом.

Органические загрязнения в сернокислой ванне вызывают хрупкость и увеличение внутренних напряжений в медном покрытии. Предельно допустимая концентрация органических загрязнений различна для разных веществ. Загрязняющие тяжелые металлы практически не поддаются удалению. Об удалении органических загрязнений сказано ниже.

**Очистка сернокислого медного электролита от органических загрязнений.** Органические примеси могут

быть удалены окислением перекисью водорода или перманганатом или обработкой активированным углем. Операции выполняются таким же способом, как при очистке никелевого электролита. Подщелачивать медный электролит не нужно.

При незначительном загрязнении органическими веществами иногда помогает простое кипячение электролита или прогрев его до 60—70 °С. Применяемые в качестве блескообразователя сульфированный нафталин и дисульфонафталиновая кислота при работе ванны окисляются до фталевой кислоты, ухудшающей качество медного покрытия. Такой электролит следует проработать со свинцовыми анодами, на которых быстро проходит дальнейшее окисление фталевой кислоты до образования безвредных для ванны продуктов.

Полноту очистки от органических загрязнений можно определить по переходу зеленоватого оттенка раствора, характерного для серноокислого электролита, содержащего специально внесенные органические добавки или случайные загрязнения, в синий цвет.

#### **46. Медные покрытия для специальных целей**

**Механические свойства медных покрытий.** Временное сопротивление на разрыв меди от 207 до 241,2 МПа при наклепе увеличивается до 482,5 МПа. Медь — очень ковкий металл. Наклеп эту ковкость снижает, но она восстанавливается при отжиге. Отжиг меди производится несколько своеобразно: нагретую до 200—400 °С медь не охлаждают медленно вместе с печью, как это делают при отжиге стали, а наоборот, резко охлаждают в холодной воде, потому что это связано не с переходом в другую кристаллическую фазу, а только с изменением внешней формы и размеров кристаллических зерен. Механические свойства и внутренние напряжения в медных покрытиях, полученных из разных электролитов, приведены в табл. 12 и 13.

**Применение специальных медных покрытий.** Помимо обычных назначений медных покрытий, таких как подслои под декоративно-защитные покрытия, как основное покрытие для облегчения пайки и как покрытие для последующего гальванического или химического окрашивания, медные покрытия применяются

**Таблица 12. Механические свойства медных покрытий,  
полученных из разных электролитов**

Электролит	Твердость по Виккерсу	Удлинение, %	Временное со- противление разрыву, МПа
Сернокислый	40—100	15—40	227,5—468,9
»	80—275	1—25	227,5—620,6
с добавками			
Кремнефторидный	40—75	6—20	117,2—275,8
»	62—71	6—11	193,1—206,8
с патокой			
Пирофосфатный	160—190	~10	413,7
Цианистый	100—220	6—9	689,5—758,4

**Таблица 13. Внутренние напряжения в медных  
покрытиях, полученных из разных электролитов**

Электролит	Темпера- тура, °С	Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	Добавки	Концентра- ция, г/л	Внутренние напряжения, МПа
Серно-кис- лый (Cu = = 63 г/л)	18	0,9	—	—	<0,34
		1,8	—	—	2,41
		1,8	Тиомочевина	0,25	1,03
		1,8	»	0,6	—7,94 (сжатие)
		5	»	0,6	2,75
		2,8	Желатина	0,5	6,87
		2,8	Нафталин- сульфат натрия и тиомочевина	0,005	4,12
Пирофос- форнокислый (Cu = 34г/л)	57	4	Фирменная добавка	—	—69,24 (сжатие)
Цианистый (Cu = 30 г/л)	52	1,5	—	—	49,62—68,25
	71	2	—	—	60,02
	71	2	KCNS	15	—27,56 (сжатие)
	71	4	—	—	103,46

для изготовления печатных схем, наращивания типографских печатных валов для глубокой печати, увеличения электропроводности поверхности проводников из немедных металлов, гальванопластического изготовления деталей сложного профиля, изготовления матриц для формования граммофонных пластинок, покрытия стальной проволоки для электрических кабелей высокой прочности и для восстановления износа некоторых деталей судовых механизмов (обычно с последующим хромированием прямо по меди или никелевому подслою).

## **Глава 13. ХРОМИРОВАНИЕ**

Хромирование начали применять в промышленности только с конца двадцатых годов нашего столетия. Этот процесс существенно отличается от большинства других катодных гальванических процессов в силу ряда химических, электрических и технологических особенностей. Несмотря на некоторую свою «необычность», хромирование получило очень широкое распространение. Вряд ли можно назвать другое гальваническое покрытие, обладающее более обширным ассортиментом технически полезных свойств и используемое в более разнообразных областях промышленности.

### **47. Электролиты для хромирования**

В отличие от всех прочих электролитов для катодных процессов покрытия промышленные хромировочные электролиты почти не содержат катионов хрома. Катионы хрома, разряд которых создаёт на катоде металлическое покрытие, образуются в растворе только под восстанавливающим действием электрического тока на анионы хромовой кислоты в непосредственно прилегающем к катоду (детали) слое электролита — растворе хромового ангидрида  $\text{CrO}_3$ . Это придает хромировочной ванне ряд особенностей, резко отличающих ее от прочих ванн для катодных процессов покрытия: ванна работает с нерастворимыми анодами, и убыль хрома в ней пополняется периодическими добавками хромо-

вого ангидрида, напряжение и плотность тока в ней значительно выше, чем в прочих ваннах, а выход по току и рассеивающая способность ниже. Это вызывает особые требования к способу завешивания деталей в ванну.

Основное применение в заводской практике получили наиболее простые электролиты, так называемые стандартные, но встречаются и другие электролиты, заслуживающие внимания: «саморегулирующиеся» и их варианты, холодные фтористые, холодные тетрахроматные, электролиты с добавками других металлов. Все эти электролиты в качестве основного компонента содержат соединение шестивалентного хрома — хромовый ангидрид, образующее в водном растворе хромовую кислоту, не существующую в безводном состоянии.

Состав «стандартного» электролита, вероятно, хорошо известен всем гальваникам — это хромовый ангидрид и серная кислота. Но менее известно, что всегда присутствующие в электролите небольшие количества трехвалентного хрома являются не только допустимыми примесями, а необходимой составной частью электролита. Большая его концентрация определенно вредна, но и при полном отсутствии трехвалентного хрома электролит работает плохо.

Считают, что концентрация трехвалентного хрома в электролите должна приблизительно быть эквивалентна содержащейся в нем серной кислоте, т. е. примерно 1,5—2,0 г  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  на 1 г  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Это соотношение ориентировочное и теоретически не обоснованное. С другой стороны, наивысшая допустимая концентрация трехвалентного хрома не должна превышать 10 г/л. Трехвалентный хром часто присутствует в хромовом ангидриде. Раствор электролита, приготовленный из ангидрида, не содержащего трехвалентного хрома, имеет ярко-красный цвет; после кратковременной проработки током (30—60 мин) цвет раствора переходит в бордовый с некоторым коричневатым оттенком. Это изменение цвета хорошо заметно на пене, поднимаемой пузырьками газов на аноде, и служит признаком законченной проработки.

Серная кислота является обязательным компонентом хромового электролита. Ее концентрация характеризуется не абсолютной величиной, а относительной;

она должна составлять около 1 % от фактически находящегося в ванне хромового ангидрида и может колебаться в пределах от 0,5 % (при декоративном хромировании) или от 0,9 % (при твердом хромировании) до 1,2 %. Можно рекомендовать для того и другого хромирования принимать в качестве нижнего предела относительной концентрации серной кислоты 0,9 %.

Содержание хромового ангидрида варьируют в широких пределах в зависимости от назначения процесса (конечно, при соблюдении указанного выше соотношения с серной кислотой). В отечественной промышленности применяют преимущественно электролит средней концентрации (250 г/л  $\text{CrO}_3$ ) как наиболее универсальный, но в недавнем прошлом для декоративного хромирования использовали электролит с концентрацией хромового ангидрида 400—450 г/л, а для твердого хромирования — концентрацией 150 г/л.

Принципиального различия между этими тремя составами нет, но при выборе электролита следует иметь в виду, что некоторые важные свойства ванны меняются довольно плавно с увеличением концентрации хромового ангидрида. В растворах слабой концентрации (150 г/л) несколько лучше рассеивающая способность (более равномерна толщина покрытия на сложнопрофилированных деталях), меньше потери ангидрида на унос с деталями и в вентиляцию, но и уже рабочий интервал блестящих покрытий и требуется источник тока на 9—12 В. В электролите с концентрацией ангидрида 450 г/л рабочий интервал шире, рассеивающая способность хуже, но наибольшее отличие в том, что для концентрированного электролита достаточно источника тока в 6 В, а потери ангидрида на унос в нем в три раза больше.

#### **48. Режим хромирования в стандартном электролите**

**Зависимость между режимом и внешним видом покрытия.** При любой температуре хромировочной ванны при очень малых плотностях тока на катоде хромовое покрытие не будет получаться или будет в виде темного налета неметаллического характера, при повышении

плотности тока начнет осаждаться «молочное» хромовое покрытие, при дальнейшем повышении плотности тока покрытие станет блестящим, а при еще большей плотности тока оно посереет (серый хром) и, наконец, станет шишковатым и подгоревшим.

С повышением температуры интервал плотностей тока, дающих блестящее покрытие, будет расширяться и одновременно смещаться в сторону больших плотностей тока, затем при дальнейшем повышении температуры блестящий интервал начнет опять уменьшаться и, наконец, пропадет совсем; покрытие будет молочным практически при всех плотностях тока.

Эту зависимость, если исключить крайние случаи, когда блестящее покрытие не получается ни при каких условиях, можно сформулировать так: 1) при постоянной температуре с повышением плотности тока хромовое покрытие будет переходить из молочного через блестящее в серое; 2) при постоянной плотности тока с повышением температуры покрытие будет переходить из серого через блестящее в молочное.

Почти в каждой книге по хромированию приводится зависимость интервала блестящих покрытий от концентрации хромового ангидрида, плотности тока и температуры. Но при сравнении таких зависимостей, приведенных разными авторами, можно заметить, что они не очень хорошо совпадают друг с другом. Причина, вероятно, в том, что степень блеска можно точно и объективно охарактеризовать процентом отражения света, а границу между блестящим и неблестящим покрытием — нельзя. Это понятие весьма субъективное. К тому же добавляется еще то обстоятельство, что гальванику приходится иметь дело не с лабораторным образцом удобно выбранной формы, а со сложнопрофилированной деталью, на которой вследствие плохой рассеивающей способности хромировочной ванны наряду с преобладающим блестящим покрытием могут оказаться углубленные участки, где покрытие будет молочным, и выступающие, где оно будет серым. Поэтому излишне приводить здесь такие зависимости. Их можно найти в книге М. Б. Черкеза и Л. Я. Богорада [6]. Полагаем более рациональным привести обычно применяемые для разных целей режимы.

Электролит с концентрацией хромового ангидрида 150 г/л:

	°C	A/дм <sup>2</sup>
Твердое блестящее покрытие	55	35—40
» молочное »	70	10—20

Электролит с концентрацией хромового ангидрида 250 г/л:

	t, °C	A/дм <sup>2</sup>
Твердое блестящее покрытие	55	50—60
Декоративное блестящее покрытие	45	15—25
Твердое молочное покрытие	70—75	20—30

Электролит с концентрацией хромового ангидрида 400 г/л дает декоративное блестящее покрытие при  $t = 45^\circ\text{C}$  и  $i = 10 \div 25 \text{ A/дм}^2$ .

Конечно, приведенные интервалы плотности тока не являются строгими границами. Опытный хромировщик, руководствуясь своим «чутьем», подберет в указанных пределах нужный для данной детали режим, а может быть, и за этими пределами <sup>1</sup>, а менее опытному иногда придется и снять неудачное покрытие и хромировать изделие вновь, немного откорректировав режим, если это допускают технические требования к механическим свойствам покрытия, преимущественно за счет изменения только плотности тока, потому что изменение температуры ванны требует затраты времени на ее нагрев или охлаждение.

**Объемная плотность тока и ее роль в поддержании температурного режима.** При прохождении электрического тока по твердому или жидкому проводнику (например, по электролиту гальванической ванны) часть энергии <sup>2</sup> тока (его напряжения) тратится на на-

<sup>1</sup> Например, при хромировании режущего инструмента (фрез, сверл, разверток), особенно работающего по стали, хорошо выбрать такой режим, при котором блестящей будет только узкая (2—3 мм) полоска на самой режущей кромке, а остальная часть лезвия будет покрыта молочным хромом. Покрытие будет более эластичным, меньше будет опасность выкрашивания режущей кромки.

<sup>2</sup> Энергия постоянного электрического тока равна произведению его напряжения на силу тока.

гревание проводника. Эта так называемая джоулева теплота для данного проводника тем больше, чем большая сила тока приходится на единицу его поперечного сечения. Джоулева теплота, выделяющаяся, в частности, при работе гальванической ванны, может частично рассеиваться в окружающее пространство через стенки ванны и через зеркало раствора, а та ее часть, которая не успеет рассеяться, пойдет на разогрев электролита, что поднимет его температуру выше начальной и может вывести ее за пределы нормы.

В гальванотехнике для расчета нагрева ванны джоулевой теплотой пользуются понятием «объемная плотность тока» — это сила идущего через электролит тока, приходящаяся на 1 л его объема. Объемная плотность тока, при которой количество выделяющейся джоулевой теплоты равно количеству теплоты, потерянного за это же время на охлаждение ванны, следовательно, при которой температура ванны будет удерживаться на одном уровне, с достаточной точностью (большая точность тут не нужна) определена экспериментально. Для гальванических ванн, работающих при комнатной температуре, она равна примерно 0,3 А/л, а для горячей хромировочной ванны — 2 А/л. При объемной плотности тока в хромировочной ванне меньше 2 А/л ванну нужно подогревать, при 2 А/л ванна устойчиво держит рабочую температуру, а при более высокой объемной плотности тока ванну приходится охлаждать подачей в ее рубашку холодной воды. При большей объемной плотности тока, чем 4 А/л, с хромировочной ванной стараются не работать — очень трудно поддерживать заданную температуру.

**Температурный режим хромировочной ванны.** Для получения деталей, одинаковых по заданному внешнему виду и толщине покрытия, температура электролита должна поддерживаться постоянной в узких пределах: при декоративном и не очень ответственном твердом хромировании  $\pm 2^\circ\text{C}$ , при хромировании деталей, у которых важно соблюсти заданные механические свойства и толщину покрытия, например при хромировании «в размер» (т. е. без последующей механической доводки размеров),  $\pm 1^\circ\text{C}$ . При правильной конструкции водяной рубашки ванны поддерживать длительное

время температуру с точностью  $\pm 1^\circ\text{C}$  даже при ручном регулировании нетрудно.

**Установление и поддержание заданной плотности тока.** Силу тока, идущую на одну деталь или на все детали, загруженные в ванну, определяют на основе геометрически подсчитанной поверхности детали или соответственно суммы поверхностей всех деталей, загруженных в ванну. Вести этот подсчет вполне достаточно с точностью до  $\pm 10\%$ , сводя элементы поверхности к простейшим геометрическим плоским фигурам и к поверхностям тел вращения. При сложных формах, не укладывающихся в простейшие фигуры, обычно вполне допустимо принять сложную фигуру за одну из близких к ней простейших. Подсчитанную поверхность умножают на требуемую плотность тока. При серийной работе и пока у начинающего хромировщика не накопится достаточно опыта нужно захромировать сначала одну деталь и проверить по результатам хромирования правильность расчета поверхности и силы тока.

Современные источники тока (генераторы и выпрямители) устойчиво держат в ванне заданную силу тока, если каждая ванна работает от отдельного источника тока. В том же случае, когда один источник тока питает несколько ванн, загрузка или выгрузка одной из ванн комплекта немедленно скажется на силе тока в остальных ваннах. Если невозможно осуществить индивидуальное питание ванн, то в электрической цепи каждой ванны необходимо установить нагрузочный реостат и амперметр; полезно установить также и вольтметр, нужный для более квалифицированного контроля. Частичное изменение загрузки изделиями даже ванны с индивидуальным питанием или существенное изменение температуры электролита также вызовут изменение силы тока на ванне.

#### **49. Корректирование стандартного хромировочного электролита**

Поскольку хромировочная ванна работает с нерастворимыми анодами, то весь осаждаемый на детали металл поступает за счет восстановления на катоде хромового ангидрида. По наблюдениям автора, при

твердом хромировании из раствора, содержащего 150 г/л хромового ангидрида, унос электролита с деталями (при их выгрузке в среднем раз в 8—10 ч) и унос его в вентиляцию за время хромирования примерно равен тому количеству хромового ангидрида, которое израсходовано на осаждение металлического хрома (при этом расчете унос электролита учитывается в граммах хромового ангидрида). Но серная кислота из электролита тратится только на унос, но не на осаждение хрома, поэтому ее концентрация по отношению к хромовому ангидриду обычно возрастает по мере работы ванны. При декоративном хромировании и более концентрированном электролите его потери на унос будут значительно больше, чем расход ангидрида на осаждение хрома, но все же почти всегда относительная концентрация серной кислоты возрастает и ее избыток время от времени приходится удалять.

Иной характер изменения концентрации у другого компонента — трехвалентного хрома (окиси хрома). Трехвалентный хром образуется на катоде за счет восстановления хромового ангидрида, но одновременно происходит и его окисление на аноде. Если плотность тока на аноде больше, чем на катоде, то восстановленный на катоде трехвалентный хром не успевает полностью окислиться на аноде, и, наоборот, при меньшей плотности тока на аноде, чем на катоде, окисление трехвалентного хрома на аноде идет интенсивнее, чем его восстановление на катоде. При анодной плотности тока, вдвое меньшей, чем катодная (поверхность анодов вдвое больше поверхности катодов), равновесие между скоростями восстановления и окисления трехвалентного хрома устанавливается в наиболее выгодных пределах. Если же по недосмотру или по технической необходимости (например, при хромировании внутренних полостей со сравнительно небольшими анодами), это оптимальное отношение анодной и катодной площадей нарушится, то нарушится и оптимальное соотношение между концентрациями трехвалентного и шестивалентного хрома. Это же может произойти и при пользовании большим количеством стальных или титановых вспомогательных анодов, потому что на них окисление трехвалентного хрома практически не происходит.

**Корректирование стандартного электролита по серной кислоте.** После того как химическим анализом будет установлено, какое количество серной кислоты является избыточным, этот ее избыток переводят в практически нерастворимую соль сернокислого бария, добавляя в ванну точно отвешенное количество углекислого бария (марки «чистый»); можно применять и окись бария или хромовокислый барий, но они менее удобны, чем углекислый.

В горячую ванну (50—70 °C) засыпают равномерно по всему зеркалу электролита порошок углекислого бария (комки, если они присутствуют, предварительно растирают) из расчета 2,2 г на каждый грамм подлежащей удалению серной кислоты, тщательно перемешивают в течение получаса и оставляют отстояться на 4—8 ч. Перемешивать следует тщательно, ибо иначе часть углекислого бария, непрореагировавшего, но ушедшего в осадок, после пуска ванны в работу будет понемногу в течение длительного времени продолжать связывать серную кислоту и этим нарушать работу ванны. То же самое произойдет и при пользовании плохо размешанными окисью или хроматом бария.

Осевший после корректирования осадок сернокислого бария нет надобности отфильтровывать: он тяжелый и не будет мешать хромированию.

**Проба на уголке.** Так как влияние серной кислоты наиболее наглядно сказывается на кроющей способности <sup>1</sup> хромировочной ванны (на ее «работе в глубину»), то большим подспорьем хромировщику может служить быстрая проба на угловом катоде, позволяющая качественно судить о «работе ванны в глубину», а это, в свою очередь, при очень легко приобретаемом навыке дает возможность получить хотя и не количественное, но достаточно наглядное и полезное представление о содержании в ванне серной кислоты, о правильности режима хромирования и о загрязнениях ванны. Эта

---

<sup>1</sup> Под хорошей кроющей способностью (или «работой ванны в глубину») обычно подразумевают одинаковость степени блеска хромового покрытия на выступающих и углубленных участках катода. Этот термин не узаконен и его не следует путать с общепотребительным термином «рассеивающая способность электролита», характеризующим равномерность толщины осажденного металла на выступающих и углубленных участках катода.

проба полезна не только при работе в стандартной ванне, но и в других типах хромировочных ванн. Полоску латунной или медной фольги или тонкой жести шириной 30—50 мм и длиной 70—120 мм прикрепляют верхним концом к проволочному крючку, на котором уголок будет завешан в ванну, а нижний край на расстоянии примерно половины длины полоски загибают под прямым углом так, чтобы линия сгиба шла поперек полоски, перпендикулярно к ее длине. Возможен и другой вариант: полоска сгибается по всей ее высоте под углом около  $60^\circ$  так, что вершина этого угла, его ребро, расположена по вертикали вдоль длины полоски. Способы эти равноценны, вопрос только в привычке экспериментатора к оценке наблюдаемых результатов, да и разница в способе оценки невелика. Контакт с подводящей ток проволокой должен быть надежным, нужно закатать проволоку в край полоски и хорошенько обжать плоскогубцами, а не цеплять проволоку за отверстие в полоске.

Уголок вешают в работающую ванну одновременно с обычной производственной загрузкой в таком положении, чтобы зев угла полоски был направлен в сторону анода. Необязательно завешивать его всегда в плоскости катодной штанги, иногда нужно изогнуть проволоку, чтобы уголок висел немного ближе к анодам, чем детали, и чтобы хромовое покрытие на нижних углах полоски чуть подгорело (было слегка шишковатым). Такое небольшое подгорание облегчает сравнение результатов проб.

По тому, насколько покроется блестящим хромом полоска в глубь уголка, какой ширины будет полоса молочного хрома между блестящим покрытием и непокрытым участком, можно при небольшом навыке получить ценные указания о состоянии ванны. Выдержка уголка под током в течение 5—10 мин достаточна.

**Корректирование по трехвалентному хрому.** Трехвалентный хром окисляют проработкой ванны током при большей площади анодов по сравнению с площадью катодов (не меньше чем 2 : 1). Аноды должны быть обязательно из свинца или из сплава свинца с сурьмой или с оловом. Продолжительность проработки нужно выдерживать на основании результатов химического анализа, но ориентировочно можно определить

ее достаточность по увеличению ширины участка блестящего покрытия на угловом катоде. Увеличение содержания трехвалентного хрома вызывает сужение интервала блестящих покрытий, что особенно становится заметно при накоплении трехвалентного хрома выше допустимого предела. Следует иметь в виду, что такой же эффект дает и значительное содержание железа.

Желательно, для поддержания концентрации трехвалентного хрома в допустимых пределах не проводить подряд много хромирований внутренних поверхностей, а чередовать их с хромированием наружных поверхностей при нормальном отношении анодной площади к катодной (2 : 1) или после хромирования внутренних полостей прорабатывать ванну при малой анодной плотности тока ( $1\text{--}5\text{ А/дм}^2$ ) и температуре  $50\text{--}60^\circ\text{C}$  из расчета примерно  $14,4\text{ кКл}$  на  $1\text{ г}$  подлежащей окислению окиси хрома.

#### **50. Загрязнения в стандартном хромировочном электролите**

Для хромировочного электролита сравнительно не так опасны загрязнения тяжелыми металлами. Допустимыми пределами загрязнения железом или медью считают  $10\text{ г/л}$ . Более вредны анионы. Хотя, например, соляная кислота вредна не столько для электролита, сколько для свинцовой футеровки и свинцовых и свинцовосплавных анодов, так как она вызывает усиленную их коррозию. Так же действуют и хлористые соли.

Значительно вреднее азотная кислота, даже в малых количествах очень сильно снижающая выход хрома по току. Предельно допустимое содержание азотной кислоты или ее аниона равно  $0,1\text{ г/л}$ .

**О вредном действии резины.** Следует предостеречь от применения при хромировании такого заманчивого материала для изоляции нехромируемых мест, для прокладок в подвесочных приспособлениях и для футеровки ванн, как резина и различные изделия из нее. Сама резина, находясь в горячем хромировочном электролите, не претерпевает заметных на глаз изменений, и обычное однослойное хромирование в ее присутствии проходит нормально, без какого-нибудь заметного

ухудшения качества покрытия. Но, очевидно, какие-то продукты из резины переходят в раствор, ибо после того как в хромировочной ванне побывала резина, в этой ванне не удастся прочно покрыть хром по хрому при возобновлении хромирования после происшедшего перерыва тока. Не помогает ни один из описанных ниже способов.

Ванну можно очистить проработкой током. Требуемое время проработки указать трудно; оно не очень велико и вероятно зависит от продолжительности пребывания резины в ванне.

**Очистка хромировочного электролита.** В начале развития хромирования в нашей стране хромовый ангидрид вследствие принятой тогда технологии его изготовления поступал в гальванические цехи с весьма значительным содержанием азотной кислоты, и хромировочную ванну после ее приготовления или корректирования приходилось длительное время (от 4 ч до 2 сут.) прорабатывать током при малой его плотности для удаления азотной кислоты. Но вскоре технология изготовления была улучшена и в гальванические цехи перестал поступать хромовый ангидрид, загрязненный азотной кислотой. Надо думать, что теперь загрязнение хромировочной ванны азотной кислотой может произойти только вследствие какой-нибудь грубой ошибки обслуживающего персонала.

Вероятно, только такая же ошибка может быть причиной попадания в ванну и соляной кислоты. Хотя при малом загрязнении можно удержать ванну в рабочем состоянии, снизив концентрацию серной кислоты на величину, эквивалентную концентрации присутствующей соляной кислоты (0,75 г HCl эквивалентны 1 г  $H_2SO_4$ ), но эта мера чрезвычайно нежелательна (см. выше). Некоторые американские исследователи предлагают удалять соляную кислоту серебряными солями, хотя вероятно дешевле будет вылить электролит (впрочем серебро можно регенерировать).

Медь и особенно железо практически не поддаются удалению. Иногда имеет смысл разбавить сильно загрязненный электролит порцией свежего раствора так, чтобы снизить концентрацию вредного металла ниже предельно допустимой. Может быть, экономически выгодно временно перестать пользоваться после такой

загрязненной ванны ванной улавливания и тем более не пытаться использовать и возвращать в ванну увлеченный в вентиляцию хромовый ангидрид (последнее вообще редко бывает целесообразно, ибо требует устройства сложных уловителей, а из простых уловителей удастся использовать хромовый ангидрид только для переработки его на полировальную окись хрома).

Загрязнение избыточным трехвалентным хромом, как сказано выше, легко устраняется даже при довольно значительной его концентрации.

## 51. Аноды в хромировочной ванне

Растворимые аноды из металлического хрома в электролите из хромового ангидрида не применимы, потому что хром растворяется в виде трехвалентного  $\text{Cr}^{+++}$ , да и изготовление анодов из чистого хрома несколько затруднительно. Поэтому работают всегда с нерастворимыми анодами из свинца или его сплавов. Очень редко, при хромировании отверстий малого диаметра, применяют стальную проволоку, но она неудобна тем, что заметно растворяется при анодной поляризации и загрязняет ванну. Стальную проволоку нужно гальванически освинцевать достаточно толстым беспористым слоем (примерно 30 мкм); желательно это свинцовое покрытие прокрацевать.

О составе свинцовых анодных сплавов, применяемых в хромировочных ваннах, сказано в гл. 3. Сплав с сурьмой хорошо работает в стандартных электролитах, сплав с оловом в основном предназначен для ванн с кремнефтористым калием, но он применим и в стандартном электролите. В литературе встречаются указания о том, что при декоративном хромировании лучше употреблять аноды из чистого свинца, хотя практическая заводская работа заставляет отнестись к этому указанию с осторожностью.

Заливка подвесного крюка в анод, как это описано в гл. 3, совершенно обязательна.

**Поведение анодов в хромировочной ванне.** Аноды из свинца и его сплавов под действием тока в хромировочной ванне покрываются темно-коричневой, почти черной пленкой окислов, хорошо проводящей ток. Аноды, висящие в ванне без тока, быстро покрываются

желтой или оранжевой пленкой хромата или бихромата свинца; эти пленки ток не проводят. Поэтому аноды не следует держать в ванне без тока, а при перерывах в работе ванны, даже непродолжительных, вынимать их из ванны и хранить в чистой воде. Если в этой воде будет накапливаться заметное количество занесенного с непромытыми анодами хромового ангидрида, то в такой воде аноды тоже будут покрываться слоем хромата.

В хромировочной ванне под током аноды «бурно газят» — выделяются мелкие пузырьки кислорода. Это газообразование служит достоверным доказательством исправной работы анода. Если какой-либо анод перестает газить, нужно проверить и зачистить сам анод, контакт его крюка со штангой и надежность заливки крюка в аноде (плохо залуженный и плохо залитый крюк иногда можно даже сравнительно легко пошевелить в аноде). Деталь, висящая против неисправного анода, естественно, будет плохо покрываться или не будет покрываться совсем.

Иногда на поверхности электролита около анодов образуются крупные (30—40 мм в диаметре) пузыри, напоминающие пузыри на луже во время дождя. Такие крупные пузыри указывают на избыточное содержание в ванне трехвалентного хрома или железа.

**Чистка анодов.** Аноды нужно регулярно, не реже одного раза в смену, чистить стальной проволочной щеткой до металлического блеска. Чистить аноды следует под сильной струей воды или обильно поливая их водой, а лучше всего чистить их под водой в баке или неглубоком поддоне. Это совершенно обязательный с точки зрения техники безопасности способ работы, так как недопустимо, чтобы ядовитая пыль свинца, его окислов и хромата летела в лицо работающему. Мокрая тяжелая пыль не полетит.

В литературе предлагаются различные химические способы очистки свинцовых анодов. Например, в растворе 10—15 %-ного едкого натра, в растворе хлористого натрия или в растворе соляной кислоты, разбавленной равным объемом воды. После обработки хлористым натрием или соляной кислотой требуется очень тщательная промывка, чтобы не занести хлор-ион в хромировочную ванну. Химические способы чистки

мало распространены, требуют установки дополнительных баков и могут вызывать ускоренный износ анодов.

## 52. Защитно-декоративное хромирование

**Подготовка деталей под защитно-декоративное хромирование.** Декоративное хромирование стальных деталей ведется всегда по какому-нибудь подслою, обычно никелевому, иногда медному или латунному. Если подслоя был нанесен из «блестящей» ванны, то достаточно только хорошей промывки, после которой деталь возможно быстрее переносят в хромировочную ванну, не давая ей высохнуть. В этом случае промывку перед хромированием нужно делать в воде, имеющей температуру хромировочной ванны, чтобы деталь не оказалась при включении тока холодной — это может вызвать отслаивание покрытия. Прогрев деталей в хромировочной ванне до включения тока нежелателен, так как никелевый подслой может пассивироваться, а медный или латунный подвергнуться травлению.

При неблестящем подслое, естественно, требуется полировка и, если она механическая, то после нее необходимо обезжиривание детали. Детали, на которых нет неплотно прилегающей местной изоляции, можно обезжиривать любым из обычных способов, следует только тщательно отмыть детали от трудно удаляемых щелочных растворов, хотя лучше пользоваться протиранием кашицей из венской извести — этот способ хотя и трудоемок, но более надежен. Изоляцию всех типов, даже лаковую, лучше наносить на детали после их обезжиривания, чтобы под ней не осталось щелочного раствора. Работу по изолированию в этом случае нужно делать в чистых резиновых перчатках.

Детали, подготовленные для декоративного хромирования, надо хромировать по возможности в тот же день, если же это окажется невыполнимым, то перед хромированием их надо слегка подглянцевать и обезжирить.

Завешивать в хромировочную ванну никелированные детали желательно под током во избежание их пассивирования, а медные и латунные — обязательно под током, ибо медь и латунь, как было сказано выше, в хромовом электролите травятся.

**Обработка деталей после защитно-декоративного хромирования.** После декоративного хромирования детали нужно промыть в ванне улавливания, в холодной проточной воде, в слабом (5 %-ном) растворе кальцинированной соды, затем вновь в холодной воде, потом в горячей и, наконец, высушить. Сушить лучше в струе горячего воздуха на сетке.

Применяемую в некоторых гальванических цехах практику «поголовного» глянцеваания декоративно-хромированных деталей нужно считать недопустимой. Не составляет никаких особых трудностей наладить технологический процесс так, чтобы недостаточно блестящие детали расценивались как встречающийся в ничтожных количествах, хотя и исправимый, но все же брак. Ведь для этого нужно только подобрать режим хромирования и состав электролита и тщательно их соблюдать.

### **53. Современные виды защитных хромовых покрытий**

Хром катоден по отношению к стали и никелю. В то же время, как известно, он практически всегда имеет сетку микротрещин. В глубине этих трещин, в месте контакта хромового покрытия с обнаженным никелем под действием попадающей в них влаги происходит коррозия металла подслоя, которая идет тем интенсивнее в глубь металла подслоя, чем меньше площадь обнаженного металла подслоя по сравнению с общей поверхностью хромового покрытия на детали. Чем больше поверхность основного анодного металла, обнажившегося в трещинах хромового покрытия, тем при прочих равных условиях (в частности, при одинаковом количестве кулонов коррозионного тока <sup>1</sup>) коррозия распространится на большую площадь, но на меньшую глубину, и такой характер ее менее опасен для прочности деталей, чем небольшое количество глубоких коррозионных повреждений.

Поскольку появление трещин у хромового покрытия явление практически неизбежное, то гальваники

---

<sup>1</sup> Атмосферная коррозия — процесс электрохимический, и разведение металла так же связано с количеством тока, вызвавшего коррозию, как и растворение анодов в гальванической ванне.

пришли к парадоксальному выводу, что выгодно образование трещин или сильное увеличение пористости и снижение при этом анодной плотности тока коррозии. Происходящая при этом закупорка пор в слое хрома продуктами коррозии никеля служит дополнительной защитой. Для этого и применяются микропористый и микротрещиноватый хром, коррозионно-защитное свойство которых в три и больше раз сильнее, чем у обычного никель-хромового покрытия.

В п. 41 говорилось о нанесении композиционного покрытия сил-никель, служащего подслоем для микропористого хрома. Слой никеля с инертными частицами наносят тонким (от 0,5 до 3 мкм, обычно по нетолстому слою блестящего никеля), а поверх слоя никеля с инертными частицами наносят обычное блестящее хромовое покрытие толщиной 0,2—0,5 мкм. Хром осаждается с большим количеством мелких пор (до  $10^4$ — $10^6$  на  $1 \text{ мм}^2$  поверхности), потому что в тех точках, где на поверхности никеля имеются инертные частицы, ионы хрома не разряжаются. Осаждать хромовое покрытие толще 0,5 мкм не следует; при длительном хромировании осаждаемый металл все-таки перекроет вкрапленные во внешний слой никелевого покрытия непроводящие частицы, и хромовое покрытие получится малопористым.

Для получения микротрещиноватого хрома покрытие толщиной 0,2—0,8 мкм осаждают на напряженный никелевый подслой, полученный из хлористого электролита:

Хлористый никель, г/л	225—300
pH	3,6—4,5
Температура, °C	22—28
Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	5,4—11
Продолжительность электролиза, мин	1—2
Перемешивание	Воздушное

Напряженный никель осаждают поверх никеля из электролита с блескообразующими добавками с промежуточными промывками между обоими никелевыми покрытиями, чтобы не занести в хлористую ванну блескообразователи (занос блескообразователей может быть вредным). Хром осаждают из обычной ванны.

Такое сочетание покрытий также характеризуется более высокими защитными свойствами, чем хромирование по подслою меди или никеля.

## 54. Химические и механические свойства хромовых покрытий

Химическая стойкость хромового покрытия в минеральных и органических кислотах, газах и прочих средах характеризуется табл. 14.

**Твердость.** Твердость блестящего хрома по Роквеллу 68, по Бринеллю 750—760, по Виккерсу 850—1200, из саморегулирующегося электролита можно получить блестящий хром с твердостью, определенной по ПМТ-3, до 1250. Несмотря на наличие таблиц для пересчета твердости, полученной каким-нибудь из упомянутых способов, на твердость, измеренную по другому методу, все эти пересчеты чрезвычайно приближенны. Более наглядно твердость хрома можно представить, если вспомнить, что блестящий хром, полученный гальваническим способом, тверже всех углеродистых и легированных сталей, даже закаленных, тверже раза в полтора нитрированной стали, он царапает стекло, уступая в этом только алмазу и некоторым карбидам. По минералогической шкале твердости твердость хрома равна 9 (следующий, самый высокий класс — алмаз — 10). Интересно, что хром, полученный металлургическим путем или химическим восстановлением, по своей твердости (150 по Бринеллю) мало отличается от среднесортной стали.

При выборе способа измерения твердости и размеров измеряемого образца следует иметь в виду, что результаты измерения будут очень сильно искажены, если вдавливание измеряющего органа прибора вызовет прогиб поверхности основного металла. Поэтому для измерения твердости тонких гальванических покрытий, толщина которых измеряется десятками или хотя бы и сотнями микрон, из всех упомянутых способов измерения пригоден только прибор ПМТ-3 для определения микротвердости, глубина вдавливания алмазной пирамидки которого составляет при измерении хромового покрытия обычно не более 5 мкм.

При измерении твердости хромового покрытия на приборе ПМТ-3 толщина покрытия на образце должна быть не менее 125 мкм, чтобы на результатах измерения не сказалась относительная мягкость основного металла.

**Таблица 14. Химическая стойкость хромового покрытия в разных средах**

Стойкость хромового покрытия	Среда
<i>Минеральные кислоты</i>	
Быстро разрушается	Соляная, плавиковая (на холоде), концентрированная серная (с выделением двуокиси серы и при кипении)
Разрушается	Бромистоводородная, хлорная, фосфорная
Медленно разрушается	Разбавленные азотная и серная (с выделением водорода)
Не разрушается	Дымящаяся азотная, мышьяковистая, хромовая, йодистоводородная
<i>Органические кислоты</i>	
Разрушается	Трихлоруксусная
Медленно разрушается	Уксусная, лимонная, муравьиная, молочная, малеиновая, сукциновая, винная, фталевая
Не разрушается	Глюконовая, монохлоруксусная, олеиновая, пальмитиновая, стеариновая, щавелевая, мочева, бензолсульфокислота, бензойная, миндальная, салициловая
<i>Газы</i>	
Разрушается	Аммиак (при высоких температурах), хлор (влажный)
Не разрушается	Аммиак (при комнатной температуре), двуокись углерода, окись углерода, сероводород, кислород, сера монохлористая, сухой и влажный воздух, горячий окислительный и горячий восстановительный воздух, водяной пар, воздушноугольный газ
<i>Прочие среды</i>	
Не разрушается	Пиво, свекловичный сахар, нейтральный рассол (рапа), цианиды (расплавленные), стекло (расплавленное), клей, молоко, масло, керосин, типографская краска, смолы, мыло, деготь, вода водопроводная, вода аэрированная, вода морская

Подсчет твердости  $H$  (ТПа), замеренной прибором ПМТ-3, ведется по уравнению  $H = 18\,190P/l^2$ , где  $H$  — твердость, ТПа (терапаскаль =  $1 \cdot 10^{12}$  Па);  $P$  — нагрузка на пирамидку прибора, Н (ньютон), которая может устанавливаться на приборе в пределах от 10 до 2000 Н;  $l$  — диагональ отпечатка алмазной пирамидки на покрытии, мкм.

**Прочие механические свойства хромового покрытия.** Коэффициент трения хрома по стали меньше, чем у стали по подшипниковому сплаву — баббиту (табл. 15), а

**Таблица 15. Коэффициенты трения  
разных пар металлов**

Трущаяся пара	Трение	
	статическое	скольжения
Хром по хрому	0,14	0,12
Хром по стали	—	0,16—0,18
Хром по чугуну	—	0,06—0,08
Хром по баббиту	0,15	0,13
Пористый хром по чугуну	—	0,06
Сталь по стали	0,30	0,20
Чугун по чугуну	—	0,095
Баббит по стали	0,25	0,29
Баббит по баббиту	0,54	0,19

у хрома по хрому меньше, чем почти по всем прочим металлам. Однако не следует хромировать обе сопряженные поверхности, выгоднее одну из них оставить стальной или из антифрикционного металла. Хром по хрому, несмотря на малый коэффициент трения, работает плохо, по-видимому, из-за плохого удержания смазки хромом.

Смачиваемость хрома водой, маслом и расплавленными металлами очень плохая. Плохая смачиваемость расплавленными металлами используется при хромировании, например, изложниц: к ним не пристает расплавленный металл, отливку легко вынуть, а изложница служит дольше. Точно так же к хрому не пристает расплавленное стекло и разогретый пластмассовый порошок, что облегчает прессование стекла и пластмасс.

Коэффициент отражения света у хрома меньше, чем у серебра, но он остается постоянным, тогда как у серебра он быстро и сильно снижается за счет взаимодействия серебра с сероводородом из атмосферы, особенно в жилых помещениях (табл. 16).

**Таблица 16. Коэффициенты отражения света от хромированной поверхности и других металлов**

Гальванически осажденный металл	Коэффициент отражения, %
Серебро свежесажденное	86,6—93,5
Серебро старое	73,0—88,8
Хром блестящий	70—72
Алюминий механически полированный	71—73
Алюминий электрополированный	78—85
Золото	29,3—88,9
Платина	51,8—66,5
Никель	56,6—65,9
Медь	32,7—80,0
Сталь	51,9—56,9

Примечание. Для всех металлов, кроме хрома и алюминия, значения коэффициентов даны для световых волн длиной от  $420 \cdot 10^{-12}$  мм — первое число и до  $650 \cdot 10^{-12}$  мм — второе число.

Хромированные поверхности не подвержены заеданию, что делает хромирование очень полезным для сопряженных поверхностей, склонных к заклиниванию и схватыванию.

Хром жаростоек, он начинает окисляться при более высоких температурах, чем обычные сорта стали; цвета побежалости начинают появляться на нем при  $500^{\circ}\text{C}$ .

Самое важное свойство хрома — его высокая износостойкость при работе на трение. Однако он не стоек при ударных нагрузках вследствие своей хрупкости. Особенно это относится к блестящему хрому, молочный хром выдерживает довольно сильные удары.

Однако в некоторых случаях, когда твердый, но хрупкий хром работает по мягкому, но вязкому металлу, например по алюминию, то часто изнашивается не мягкий алюминий, а твердый хром. Объясняется это тем, что мелкие крошки хрома вдавливаются в вязкий алюминий, алюминий превращается в самозатачи-

вающийся хромовый абразивный инструмент, который благодаря самозатачиванию оказывается как бы тверже гладкого хрома и интенсивно его сошлифовывает. Это общее правило при совместной работе вязкого и хрупкого компонентов сопряженной пары. Однако оно не всегда является препятствием для применения пары хром--алюминий, нужно только подобрать подходящий режим хромирования, чтобы хром был менее хрупок.

Парамагнитные свойства хрома оказываются полезными при работе с хромированными напильниками, ибо к ним не пристают стальные опилки. Напильники часто бывают слегка намагниченными магнитным полем Земли; хромирование, конечно, не снимает эту намагниченность, но слой парамагнитного хрома ослабляет силу взаимодействия слабого магнита — напильника со стальными опилками.

## 55. Твердое хромирование

**Подготовка изделий под твердое хромирование.** На вновь изготовленные изделия покрытие твердого хрома, предназначенное не для защитно-декоративных целей, а для придания поверхности специфических свойств — износостойкости, жаростойкости, твердости и т. п. (так называемые специальные покрытия), очень редко наносят слоем тоньше 30 мкм. В большинстве случаев покрытие даже такой толщины уже не сможет уложиться в поле допусков размеров детали. Наоборот, имеет смысл выбирать минимальную толщину покрытия — на 20—50 мкм больше поля допуска, углубляя слой покрытия в толщу детали изделия, для того чтобы при износе до нижнего предела допуска на ней еще остался некоторый запасной слой хрома. Этот запас нужен потому, что иначе может частично обнажиться более мягкий основной металл детали, он начнет изнашиваться более интенсивно, чем те участки, на которых еще остался хром, и контур детали перестанет быть подобным своей первоначальной, чертежной форме (например, шейка вала перестанет быть цилиндрической). Таковую деталь, прежде чем хромировать ее вновь, придется довести до геометрического подобия ее чертежной форме. Для этого надо будет снять с нее значи-

тельный объем металла, возможно, что при этом нарушится структура ее поверхности (например, цементация).

Детали, бывшие в работе, которые нужно хромировать для восстановления утраченных размеров, конечно, приходится хромировать на значительно большую толщину. Детали, не подвергающиеся ударам, почти всегда можно хромировать слоем до 0,5 мм (не считая дополнительного припуска на доводку размеров после хромирования). Но наращивания излишне толстого покрытия надо избегать. Это и технически неэкономично (с увеличением толщины слоя хрома его механические свойства ухудшаются) и экономически невыгодно.

**Шлифование изделий перед хромированием.** Шлифовать перед хромированием иногда приходится и новые детали, если их размеры не были заранее занижены. Детали, которые собираются хромировать для восстановления износа, почти всегда приходится шлифовать, чтобы придать им форму, подобную первоначальной; износ очень часто происходит несимметрично вследствие несимметричности нагрузок на деталь при ее работе.

При повторном хромировании износившейся при работе детали надо с нее полностью снять остатки старого хрома химическим или электрохимическим путем. Если при износе старый хром нигде не обнажил основной металл детали, то и подобие формы не должно было нарушиться, а следовательно, и шлифовка вероятно не будет нужна. Применять шлифование для снятия старого хрома дорого и не рационально, ибо на шлифованной поверхности остатки не удаленного хрома часто труднее заметить, чем после химического или электрохимического снятия.

При шлифовании нужно избегать прижогов. Хотя прижог и не трудно удалить шкуркой, но под ним может быть на значительную глубину искажена кристаллическая структура основного металла, что часто сказывается на сцепляемости нового хромового покрытия в этом месте.

Очень важно сохранить в исправности до и после хромирования центровые углубления и базисные поверхности, чтобы после хромирования можно было при доводке размеров точно восстановить геометрическое подобие формы детали.

**Обезжиривание и механическая очистка.** Детали, защищенные консервирующей смазкой или покрытые толстым слоем смазочного масла, надо предварительно очистить каким-нибудь органическим растворителем, например трихлорэтиленом или бензином (при пользовании бензином необходимо принять меры противопожарной безопасности). Особенно трудно удалить смазочное масло из пор металла длительное время работавшей детали. Ее приходится долго (2—4 ч) вымачивать в двух-трех сменах бензина или кипятить так же продолжительно в щелочном растворе с хорошим эмульгатором.

После этого сухую деталь зажимают в тиски (зажимать нужно за неответственные места или подложить медные или свинцовые прокладки) и чистят сначала среднезернистой, а затем мелкозернистой корундовой шкуркой. Для чистки плоских поверхностей шкурку оборачивают вокруг деревянного бруска абразивным слоем наружу, чтобы удобно было шкурить поверхность детали; цилиндрические и прочие тела вращения чистят длинной полоской из шкурки, которую перекидывают через деталь примерно на половину окружности и двигают вокруг очищаемого участка, обходя его по окружности. Шкурку лучше применять на матерчатой основе, ленту из нее нужно вырезать вдоль рулона — вдоль нитей основы ткани. Двигать шкурку и по плоскости, и по поверхности вращения нужно в направлении следов от станочной обработки, чтобы прочистить даже мельчайшие риски, оставшиеся от резца. Поверхность металла после чистки шкуркой должна быть равномерно светло-серой, доводить ее до блеска не нужно.

Если после обработки шкуркой поверхность детали будет недостаточно чистая (например, покрыта металлической или корундовой пылью, не стирающейся мягкой волосяной щеткой), то ее можно протереть кашицей из венской извести<sup>1</sup>, замешанной на воде до густоты сметаны. При отсутствии венской извести можно работать простой, свежегашеной обычной строительной жженой известью, выбрав для этого куски извести более легкие — это признак хорошего обжига — и

---

<sup>1</sup> Венская известь получается обжигом минерала доломита и состоит из смеси окислов кальция и магния.

свободные от песка и камней. Обработка известью особенно желательна для чугунных изделий.

Загрязнения очищенных деталей можно не бояться, так как ванна для хромирования благодаря интенсивному газообразованию сама действует как слабая ванна электрообезжиривания; но все же ориентироваться на это свойство ванны для хромирования как на единственное средство очистки не следует.

Прошкуренные детали обезжиривать в щелочных растворах нежелательно, так как щелочные растворы образуют на детали тонкую пленку окислов; изделия подготовленные полностью, то есть снабженные изоляцией, экранами, дополнительными анодами, обезжиривать в щелочных растворах недопустимо. Занесение в ванну для хромирования застрявшего под изоляцией щелочного раствора может сильно ухудшить сцепляемость хрома.

Участки поверхности детали, не подлежащие хромированию, можно изолировать тонким листовым свинцом. Поверхности вращения оборачивают свинцовой полоской кругом и немного внахлестку, чтобы не осталось щели, и обвязывают проволокой. На плоских участках свинец крепят проволоочной скобкой, если ее можно упереть в противоположную грань детали. Край свинца со стороны покрываемого участка нужно подколлотить молотком для плотного прилегания и аккуратно подрезать. Достоинство свинцовой изоляции состоит в том, что ее край может служить защитным катодом против подгорания прилегающего края покрываемого участка. Недостаток — дополнительный расход тока на покрытие свинца (это необходимо учесть при подсчете площади хромирования). Сквозные и несквозные отверстия у детали удобно забивать свинцовыми пробками аккуратно подрезав их верх заподлицо с поверхностью детали; необходимо проследить, чтобы какой-нибудь заусенец свинца не перекрывал часть поверхности, подлежащей хромовому покрытию. При хромировании поверхности вокруг незакрытых отверстий трудно избежать «утяжки» хрома — непокрытого хромом ободка вокруг отверстия.

Участки поверхности детали, не подлежащие хромированию, удобно изолировать пластикатом (винилхлоридным, полиэтиленовым или иным, стойким к

температуре хромирования). Пластикат оборачивают вокруг детали и закрепляют стальной проволокой, как свинец, или приклеивают лаком. Очень удобно работать липкой полиэтиленовой или поливинилхлоридной лентой, так как ее просто намотать и просто снять, но использовать ее повторно не удастся из-за нестойкости клеевого слоя.

В настоящее время имеется много хороших синтетических изоляционных лаков, например ОНИЛХ-3. Бесцветные лаки надо обязательно окрашивать каким-нибудь подходящим красителем, растворимым в этом лаке, чтобы своевременно заметить, если лак попадает на поверхность, подлежащую хромированию. Обнаруженную каплю после высыхания следует соскоблить ножом и зачистить это место шкуркой. Смывание лака растворителем нежелательно, так как лак может растечься по детали тонким, незаметным слоем.

**Предварительный прогрев детали.** Нельзя подавать ток в ванну для хромирования, в которую только что была помещена холодная деталь. Прилегающий к детали электролит остынет и результат будет тот же, что при хромировании током большой плотности в холодном электролите: подгар, хрупкость и плохое сцепление покрытия. Стальную деталь нужно выдержать до включения тока в ванне при рабочей температуре, пока она не прогреется до температуры ванны, на что требуется в зависимости от массивности детали от 15 до 30 мин. Медные и латунные детали, которые нельзя держать в ванне без тока из опасения их травления, нужно перед загрузкой в хромировочную ванну прогреть в горячей воде, температура которой градусов на 5—10 °C выше рабочей температуры ванны хромирования.

Перед всяким гальваническим покрытием подготовленную деталь надо активировать, чтобы удалить тонкий слой окислов, образовавшийся во время пребывания детали на воздухе. При хромировании есть возможность выполнить операцию более эффективно, чем при обычном окунании в слабый раствор кислоты. Деталь активируют непосредственно в рабочей ванне для хромирования, обрабатывая током на аноде («обратным током») в течение короткого времени и затем, не вынимая ее из ванны, переключают полярность тока

так, чтобы деталь оказалась катодом («прямой ток»). Плотность обратного тока обычно берут равной рабочей плотности катодного процесса, а продолжительность активирования для стали — 30 с, для чугуна — 10 с. В результате такого активирования получается хорошая сцепляемость, сравнимая только со сцепляемостью после активирования с пассивированием (см. п. 35).

Первые один-два десятка лет после начала промышленного хромирования многие гальваники боялись проводить активирование стальных изделий в той же ванне для хромирования, в которой ведется и само покрытие, и предлагали, во избежание возможного накопления в электролите железа, производить активирование в отдельной ванне, а после активирования переносить деталь в другую ванну, служащую только для хромирования. Полувековая эксплуатация хромировочных ванн, как будто бы, убедила уже всех гальваников, что это опасение напрасно, накопление в ванне железа вследствие активирования в ней стальных деталей не может даже близко подойти к допустимому пределу содержания железа вследствие больших потерь электролита на унос в вентиляцию, значительно превышающих даже унос с деталями при их выгрузке<sup>1</sup>. Перенос же деталей из ванны активирования в ванну хромирования вызывает заметное охлаждение деталей, занос в нее оставшегося под слоем изоляции и под экранами обогащенного железом электролита, а, возможно, и обсыхания и окисления поверхности за время переноса; кроме того, существенным затруднением является необходимость установки дополнительной ванны, требующей места, источника тока и вентиляции. Для повторного использования увлеченных в вентиляцию брызг раствора требуется значительное усложнение и увеличение габаритов очистных устройств сверх того, что необходимо для очистки выбрасываемого воздуха.

Чрезвычайно высокий эффект активации обратным током на сцепление хромового покрытия со сталью убедительно показал И. Я. Богорад еще в 1936 г.

---

<sup>1</sup> Подсчет, выполненный на основании данных о величине потери электролита на унос с изделиями и в вентиляцию, взятых из двух независимых источников, показал, что накопление железа не может превысить 10—20 % от максимально допустимого его количества.

**Пауза после активации.** Использование обычных контакторов для переключения полярности тока с обратного тока при активации на «прямой ток» для последующего покрытия может оказаться причиной плохой сцепляемости хрома с металлом детали. Дело в том, что во время активирования обратным током на аноде (изделии) происходит очень интенсивное выделение кислорода, пузырьки которого после выключения обратного тока не сразу отрываются от детали, а продолжают подниматься с нее на поверхность электролита еще некоторое время (около 2 с). Слой окклюдированного на поверхности детали кислорода нарушает нормальное осаждение хрома. Необходимо выждать эти 2 с без включения тока, пока полностью прекратится выделение кислорода, и только после этого давать прямой ток. Ручная перекидка даже небольшого перекидного рубильника, а тем более рубильника на 1000—2000 А, требует существенно большего времени, чем 2 с, а контактор переключает ток практически мгновенно. Вот почему при ручной работе это обстоятельство осталось незамеченным.

Это следует иметь в виду при конструировании автоматов для хромирования!

**Процесс хромирования.** Как хорошо известно гальваникам, на сложнопрофилированных деталях трудно при рабочей плотности тока получить хромовое покрытие в углубленных местах катода. Покрытие таких мест удается лучше, если начать процесс при повышенной плотности тока, так как после того, как углубление покроется первым тонким слоем хрома, на нем уже легче идет дальнейшее покрытие при нормальной плотности тока.

Но чем толще покрытие, наносимое при большой плотности тока, тем сильнее сказывается эта повышенная плотность тока на ухудшении кристаллической структуры хромового покрытия. Поэтому при твердом хромировании изделий сложного профиля начинают процесс при плотности тока в полтора-два раза большей нормальной плотности, выдерживают при этом токе 5 мин и затем плавно и постепенно в течение 15—20 мин снижают плотность тока до нормы, при которой и продолжают хромирование.

Промывку деталей после твердого хромирования лучше делать в горячей воде, температура которой

близка к температуре ванны хромирования, потому что при резком охлаждении толстый слой хрома может дать трещины. Как правило, промывку приходится делать дважды — второй раз после того, как деталь будет «разобрана», т. е. сняты с нее все экраны, изоляция, дополнительные аноды и пр. Разбирать деталь, с которой ручьем течет хромовый ангидрид, неприятно, и после разборки наверняка придется промыть деталь второй раз, потому что под изоляцией и прочим останется довольно много раствора. За время разборки деталь успеет достаточно остыть и вторую промывку можно делать в холодной воде.

Часто случается, что на детали остаются трудно удаляемые водой красно-коричневые пятна засохшего хромового ангидрида. Их легко можно смыть слабым раствором кальцинированной соды (5—10 %).

При хромировании деталей каждый лишний микрон толщины покрытия чрезвычайно нежелателен, так как он требует лишней затраты времени на хромирование и на последующую доводку размеров, но и недостаточная толщина тоже недопустима, причем не только при хромировании «в размер», но и при хромировании с припуском под последующую доводку. Заказчику, так же как и гальванику, невыгоден слишком большой припуск толщины хрома, это для него лишняя работа при доводке, но недостаточный припуск может вызвать порчу изделия из-за неизбежной ошибки всякого доводочного (шлифовального, токарного и т. п.) станка. Гальваник должен обеспечить заданный размер детали при хромировании «в размер» и заданный припуск при хромировании «под доводку», а для этого он должен замерить хромируемый участок детали до и после хромирования и замер этот обычно нужно выполнить с точностью до 2—5 мкм. Такой замер нужно делать не штангенциркулем, а более точными приборами с индикаторным отсчетом.

При замерах с такой точностью следует помнить, что при изменении температуры детали и температуры мерительного инструмента меняются размеры и той и другого. Например, при нагреве шейки вала диаметром 70 мм всего только на 10 °С, скажем с 20 до 30 °С, диаметр шейки увеличится на 10 мкм. Следовательно, при обмерах и деталь, и мерительный инструмент дол-

жны иметь комнатную температуру (20 °С) или, по крайней мере, очень близкую к ней. Обмер деталей должен совершаться только тогда, когда они вполне остынут до комнатной температуры после горячих промывок, сушки и т. п., в помещении с равномерной температурой, без сквозняков и вдали от нагревательных приборов.

Хромирование до заданного размера без последующей доводки выполнимо сравнительно легко при толщине покрытия, не превышающей примерно 30 мкм. При этом необходимо соблюдение следующих четырех условий: 1) правильного завешивания деталей с учетом условий распределения тока и хрома по профилю детали; 2) постоянства состава электролита, для чего необходимо производить его анализ и коррекцию по хромовому ангидриду, трехвалентному хрому и серной кислоте не реже двух раз в неделю; 3) ежедневной проверки выхода хрома по току; 4) соблюдения режима хромирования с точностью до  $\pm 1$  °С по температуре и  $\pm 5$  % по силе тока.

**Определение выхода хрома по току.** Чтобы хромировать изделия «в размер», да и не только «в размер», надо знать фактический сегодняшний выход по току в каждой ванне для хромирования. Выход по току и связанная с ним скорость наращивания хрома — величины непостоянные; они меняются довольно сильно при сравнительно небольших изменениях состава электролита, его температуры и плотности тока. Держать постоянными температуру и плотность тока с достаточной точностью нетрудно, а вот держать постоянным с требуемой точностью состав электролита, включая его загрязнение, в производственных условиях невозможно. Выручает очень простое определение выхода хрома по току (одновременно определяется и скорость наращивания), выполняемое в данном электролите (непосредственно в данной рабочей ванне) при той температуре и той плотности тока, при которой будет производиться покрытие. Температура и плотность тока выбираются соответствующими условиям, требуемым для выполняемой производственной работы.

Выход хрома по току, т. е. отношение фактически осажденного определенным количеством электричества

хрома его теоретическому эквиваленту (отнесенному к тому же количеству электричества), выраженное в процентах, можно просто и быстро определить, завесив в ванну стальной электрод, предварительно взвешенный на аналитических весах, замерив силу и продолжительность действия идущего через него тока и взвесив его вторично после электролиза. Подсчет выхода по току ведется по уравнению:

$$\eta = \frac{6000 (b - a)}{0,324 I T}, \quad (26)$$

где  $\eta$  — выход по току, %;  $I$  — сила тока, А (выбирается в зависимости от площади электрода для получения на нем заданной плотности тока);  $T$  — продолжительность электролиза, мин;  $a$  — масса электрода до покрытия, г;  $b$  — масса электрода после покрытия, г; 0,324 — электрохимический эквивалент хрома

Толщину хромового покрытия, осаждаемого количеством электричества 3,6 кКл, можно найти из данных того же замера, вычислив ее по уравнению

$$\delta = \frac{6000 (b - a)}{\gamma I T S}, \quad (27)$$

где  $\delta$  — толщина хромового покрытия, мкм, осаждаемая током плотностью 1 А/дм<sup>2</sup> за 1 ч;  $a$  — масса электрода до электролиза, г;  $b$  — масса электрода после электролиза, г;  $\gamma$  — плотность гальванически осаждаемого хрома, т/м<sup>3</sup> (для блестящего хрома  $\gamma = 7,0$  т/м<sup>3</sup>, для молочного  $\gamma = 7,1$  т/м<sup>3</sup>);  $I$  — сила электрического тока, идущего через электрод, А (при соблюдении вышесказанного условия выбора силы тока пропорционально поверхности электрода эта сила тока будет численно равна плотности тока при последующем хромировании детали);  $T$  — продолжительность электролиза, мин;  $S$  — поверхность электрода, дм<sup>2</sup>.

Величины  $a$ ,  $b$ ,  $I$ ,  $T$  — те же, которые были измерены для вычисления выхода по току по уравнению (26).

Электрод, на котором измеряются выход по току и скорость наращивания, можно завешивать в работающую производственную ванну рядом с другими деталями, только в этом случае электрод нужно включить

не непосредственно на катодную штангу, а через добавочные амперметр (на силу тока немного большую силы тока на электроде) и реостат; за отсутствием подходящего реостата можно использовать отрезок нихромовой проволоки, изменяя его длину до получения нужного показания амперметра (рис. 41). Плотность тока на электроде должна быть равна расчетной рабочей плотности, применяемой при покрытии производственных деталей. Продолжительность электролиза 15 мин обычно вполне достаточна (время замерить по секундомеру или по часам с точностью, не меньшей 10 с).

В качестве электрода удобно пользоваться стальным шариком от шарикоподшипника. Шарик диаметром 19 мм довольно часто встречается в подшипниках средних размеров и удобен тем, что его поверхность с достаточной степенью точности равна  $0,1 \text{ дм}^2$ , что позволяет просто подсчитать силу тока, которую нужно на него дать для получения заданной плотности тока (более точное значение поверхности шарика  $0,1134 \text{ дм}^2$ ; этой разницей можно пренебречь, но взвешивание его до и после электролиза должно быть выполнено с точностью до  $0,0002 \text{ г}$ ). Подвод тока к шарiku осуществляется П-образной скобкой из стальной проволоки  $\varnothing 1,5\text{—}2,0 \text{ мм}$ . Зажимающие шарик концы скобки должны быть заточены на острие, и вся погруженная в электролит поверхность скобки должна быть надежно изолирована, кроме точек ее касания с шариком. После использования шарика хром с него снять и слегка поглянцевать его поверхность на войлочном круге; перед повторным применением — обезжирить.

Чтобы шарик устойчиво держался в скобе, очень хорошо сделать по концам его диаметра по маленькому углублению диаметром около 1 мм и глубиной при-

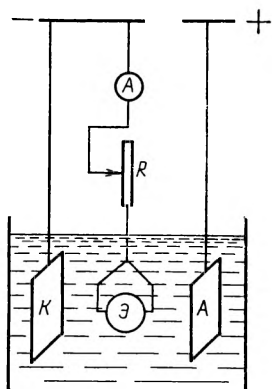


Рис. 41. Схема заавешивания в производственную хромировочную ванну электрода для определения выхода по току

мерно 0,5 мм. Поскольку шарик твердо закален, эти углубления приходится делать на электронискровом станке. При отсутствии такого станка можно на наждачном точиле снять небольшие фасочки под прямым углом к диаметру, упругая скобка будет достаточно надежно держаться. В крайнем случае можно шарик отжечь, засверлить и отполировать. Калить его вновь нет надобности. Приваривать контактную проволочку к шарiku не следует, это неудобно при взвешивании и подсчете фактической его поверхности.

## 56. Вспомогательные операции при хромировании

**Удаление окклюдированного водорода.** Водород, проникающий в толщу и гальванического покрытия, и основного металла под покрытием, повышает хрупкость обоих. Особенно сильно его действие сказывается при хромировании тонкостенных предметов и массивных твердозакаленных, но плохо отпущенных деталей, которые часто трескаются и даже разваливаются на куски еще в процессе хромирования в ванне.

Для удаления водорода из покрытия и основного металла нужно прогреть хромированную деталь при 180—200 °С в течение 1,5—2 ч, а иногда и до 4 ч. Прогрев лучше вести не на воздухе, а в веретенном масле. Поднимать температуру выше 300 °С не следует, так как при 360 °С твердость хромового покрытия заметно снижается.

Обезводороживание нужно производить не позже, чем через один час после выгрузки детали из ванны. Если за это время деталь успеет остыть, то ее нужно прогреть в кипятке и загружать в печь для обезводороживания прогретой до температуры кипятка, в противном случае при слишком быстром прогреве в печи холодной детали бурное выделение водорода может вызвать ее разрыв.

Если некоторое снижение твердости хрома допустимо, а полное удаление водорода очень важно, то прогрев можно вести при 500 °С в течение 2 ч (при условии, что эта температура не вызовет отпуска структуры металла).

Перерыв тока при хромировании очень вреден, потому что хромовое покрытие при прекращении катодной

поляризации легко и быстро пассивируется, а к пассивному хрому следующий слой хрома пристает плохо. Восстановить сцепление можно, если соблюсти хотя бы первые два из следующих трех условий: 1) не держать изделие на воздухе и не давать ему обсохнуть, лучше всего оставить его в хромировочной ванне до момента возобновления хромирования или, в крайнем случае, хранить его в воде; 2) при возобновлении хромирования осаждать первый слой более мягким, чем старый хром, для чего начинать повторное хромирование нормальным током, но при несколько более высокой температуре (на 5—10 °С выше) и постепенно в течение примерно получаса снизить ее до нормы, либо при рабочей температуре снизить начальную плотность тока на 10—15 А и так же постепенно за полчаса поднять ток до нормы. Оба способа дают равноценное качество сцепления, но возобновление хромирования при повышенной температуре и неизменной плотности тока немного удобнее (его легче выполнить плавно); 3) желательно, в особенности при ответственных и толстых покрытиях, перед возобновлением хромирования провести анодное активирование около полуминуты, но злоупотреблять им не следует, потому что хром растворяется на аноде, во-первых, в виде трехвалентных ионов и, во-вторых, почти со стопроцентным выходом по току, так что ток на аноде снимает чуть ли не в 12 раз более толстый слой хрома, чем он за это время осадил бы на катоде.

Подтверждением надежности описанных способов возобновления прерванного хромирования могут служить (в числе прочих многочисленных примеров) пять шпинделей токарных станков, шейки которых были хромированы на толщину 0,7 мм (после доводки толщина покрытия была около 0,5 мм). Хромирование по техническим причинам пришлось вести в очень тяжелых условиях. Собственно хромирование продолжалось 32 часа, но фактически работа заняла значительно больше времени из-за частых перерывов. В среднем при хромировании каждого шпинделя (они хромировались раздельно) бывало по 7—8 перерывов подачи тока продолжительностью от нескольких минут до 8—9 часов. После установки на токарные станки шпиндели безупречно проработали 3 года, не потребовав ни ремонта,

ни даже разборки для осмотра. К сожалению, по независящим от хромировщиков причинам, дальнейшие наблюдения за работой шпинделей пришлось прекратить.

#### **Доводка размеров изделия после хромирования.**

Доводка размеров изделия после хромирования осуществляется преимущественно шлифованием на кругло- и плоскошлифовальных станках. Иногда, когда не требуется снять большой слой хрома, применяют обработку чугуном притиром на токарном станке. Производить шлифование хромированных изделий на бесцентрово-шлифовальных станках не следует, так как на них тонкий слой хрома может быть снят эксцентрично.

Рекомендуемые условия шлифования хромированных изделий: шлифовальный круг: материал зерна — электрокорунд белый или нормальный (карбид кремния не рекомендуется); зернистость 12—10 по ГОСТ 3647—59; твердость М1—М3; структура 12—18; связка бакелитовая или керамическая; режим резания: поперечная подача 0,002—0,005 мм на двойной ход стола; продольная подача 2—10 мм на оборот детали; окружная скорость круга 30—35 м/с; окружная скорость детали 15—25 м/мин; количество смазочно-охлаждающей жидкости 20—30 л/мин.

### **57. Пористое хромирование**

**Назначение пористого хромирования.** Как было сказано выше, смачиваемость хрома смазочными маслами плохая. Поэтому хромированные детали, работающие в тяжелых условиях и при затрудненном подводе свежей смазки, иногда «заедают». Характерным примером трущейся пары, работающей в условиях большой нагрузки и затрудненного снабжения смазкой, могут служить цилиндр и поршневые кольца двигателей внутреннего сгорания. Хромирование цилиндра или колец дает очень хорошие результаты по уменьшению износа при наличии хорошей смазки, но обеспечить их хорошую смазку трудно, смазка разжижается от высокой температуры и стекает с плохо удерживающего ее хрома. Это особенно катастрофически сказывается при обкатке во время приработки колец и цилиндра. Улучшить смазку хромированных поверхностей можно

созданием на поверхности хромового покрытия густой сетки трещин, в порах которой хорошо удерживается смазочное масло.

**Способ получения сетки трещин.** Хром при гальваническом хромировании всегда осаждается с большими внутренними напряжениями, которые вызывают образование трещин. В зависимости от режима хромирования (температуры и плотности тока) эти напряжения, а соответственно и густота сетки трещин будут различны. Если после хромирования обработать деталь в том же хромировочном электролите на аноде, то сетка трещин станет гуще и заметнее. Это происходит не вследствие увеличения внутренних напряжений, а за счет раскрытия существующих, но мало заметных трещин, может быть даже несколько затянутых и зажатых верхними слоями металла.

Сопоставление микрофотографий, сделанных при небольшом увеличении с образцов, захромированных при разных режимах по температуре и плотности тока, позволяет выбрать режим для получения сетки пор желаемой густоты: изменение количества электрического тока, пропущенного при анодной обработке («дехромировании»), позволяет несколько менять ширину и глубину пор. Дехромирование обычно ведется пропуском 1200—2400 Кл электрического тока при той же его плотности, при которой велось хромирование. Толщина пористого слоя хрома составляет, как правило, от одной четверти до одной трети толщины всего слоя хрома. Остальные (нижние)  $\frac{3}{4}$  или  $\frac{2}{3}$  толщины покрытия имеют даже несколько меньше трещин, чем можно видеть на поверхности обычного «непористого» хромового покрытия.

**Ограничения применимости пористого хромирования.** Производственные многолетние наблюдения и выполненное при участии автора специальное исследование хода приработки пористохромированных поршневых колец в двигателе внутреннего сгорания при его обкатке показали, что за время обкатки (примерно 4 ч холодной обкатки и затем столько же горячей) пористый слой стирается полностью. Следовательно, пористый слой нужен только для того, чтобы обеспечить трущиеся детали маслом на время их приработки. В этих условиях приработка достигается настолько хорошая,

что пара кольцо — цилиндр может устойчиво работать и при том небольшом количестве масла, которое способна удержать поверхность практически непористого хрома. Дело в идеально хорошей притирке пористого хрома, какую вряд ли может дать механическая обработка обычного непористого хрома.

Выше было сказано, что толщина пористой части хромового покрытия составляет от  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{1}{3}$  общей толщины хрома. Для поршневых колец и для большинства хромируемых пористым хромом деталей применяют толщину покрытия в 120—150 мкм. Следовательно, за время приработки деталь за счет срабатывания пористой части хромового покрытия еще до начала своей настоящей работы потеряет от 60 до 100 мкм по диаметру, что почти всегда выведет ее за пределы допуска.

В паре цилиндр — поршневое кольцо положение спасает то, что благодаря наличию у кольца замка оно автоматически выбирает образовавшийся зазор. Следовательно, применять пористое хромирование можно только на тех сопряженных парах, у которых есть устройство для автоматической или хотя бы ручной, но регулярной выборки образующегося при приработке зазора. Распространенное мнение, что пористость хрома сохраняется на все время эксплуатации изделия, глубоко ошибочно. Пористость хрома существует только на время приработки, но за этот период она успевает сделать свое дело — обеспечить идеальную приработку<sup>1</sup>.

Конструкторам следует иметь это в виду!

## 58. Саморегулирующиеся электролиты

Электролит HSSR, предложенный более двадцати лет тому назад американскими исследователями, интересен тем, что активные сульфатный и дополняющий его кремнефтористый анионы вводятся в ванну не в виде соответствующих кислот, а в виде труднорастворимых солей — сернокислого стронция и кремнефтористого калия, растворимость которых в растворе хромового ангидрида хотя и заметно больше, чем в дистиллиро-

---

<sup>1</sup> В этом параграфе под пористым слоем подразумевается та часть хромового покрытия, в которой густая сетка трещин (пор) была создана специальной дополнительной обработкой в отличие от трещин, присутствующих во всяком хромовом покрытии.

ванной воде, но все же весьма мала; однако этой растворимости оказывается как раз достаточно для хорошей работы ванны.

Растворимость обеих солей в значительной степени прямо пропорциональна концентрации хромового ангидрида. Поэтому при технологически возможных колебаниях его концентрации содержание в электролите растворенных солей, а следовательно, и их активных анионов сохраняется автоматически достаточно точно в требуемых пределах (на дне ванны всегда лежит небольшой избыток этих солей). Это делает ненужным при эксплуатации ванны трудоемкий химический анализ сернокислого и кремнефтористого анионов и позволяет ограничиться только определением концентрации хромового ангидрида, что можно делать даже просто при помощи ареометра по плотности раствора (для обычной стандартной ванны контроль ангидрида по плотности недостаточно точен, так как на плотность раствора значительно влияет содержание в нем трехвалентного хрома и железа, хотя существуют поправочные таблицы, учитывающие это влияние).

Сернокислый стронций добавляют из расчета 6 г/л, а кремнефтористый калий — 20 г/л. Эти концентрации примерно на 30 % больше растворимости обеих солей в ванне с 250 г/л хромового ангидрида при 55—60 °С. Оптимальное содержание ангидрида в ванне 250—300 г/л. Натриевая соль кремнефтористоводородной кислоты неприемлема вследствие ее значительно большей растворимости.

**Достоинства саморегулирующегося электролита.** Этот электролит позволяет работать при осаждении блестящего хрома с выходом по току 20—24 %. Интервал блестящих покрытий в нем шире, чем в стандартном электролите, блеск ярче, «работа в глубину» и рассеивающая способность лучше, ванна почти не боится перерывов тока, позволяет извлекать из нее детали для осмотра и обмера и возобновлять затем хромирование без особых мероприятий.

**Недостатки саморегулирующегося электролита.** Для получения молочного покрытия в связи с большой шириной интервала блестящих покрытий приходится поднимать температуру ванны до 80—85 °С вместо обычных для стандартного электролита 70 °С.

При приготовлении и корректировании электролита надо предварительно удалить из хромового ангидрида всю серную кислоту углекислым стронцием. Операция эта требует времени.

У стронциевого саморегулирующегося электролита очень узки интервалы степени густоты получаемой при пористом хромировании сетки трещин. Сетка очень густа, значительно гуще обычно применяемой для пористого хромирования и почти не поддается регулированию. И самый главный дефект — это его подтравливающее действие на сталь в местах, не покрываемых хромом, а защищенных экраном или неплотно прилегающей изоляцией. Эти участки находятся под катодным потенциалом, но недостаточно отрицательным для осаждения хрома.

**Способы борьбы с подтравливанием стали.** Самый простой и самый эффективный способ борьбы с подтравливанием непокрываемых хромом участков стали — это хромировать всю деталь кругом. К сожалению, это не всегда приемлемо с конструкторской точки зрения.

Другой способ, сообщаемый индусскими учеными Р. Шелаппа и Н. В. Партхазаралхи, состоит в устройстве контакта детали с каким-нибудь металлом, на котором низко перенапряжение выделения водорода, например с платиной, палладием, родием, иридием, никелем или алюминием (из двух последних можно сделать подвески для завешивания изделий в ванну).

И, наконец, третий способ, привлечший наибольшее внимание разработчиков, состоит в введении в ванну ионов калия для снижения растворимости кремнефторида калия. Ионы калия могут быть введены в виде любой легко растворимой соли, чаще всего в виде хромата или бихромата.

Однако этот способ вызывает некоторые сомнения.

1. Введение легкорастворимых калийных солей для снижения растворимости кремнефторида, концентрация которых не будет оставаться постоянной при работе ванны вследствие их уноса с электролитом, лишает эту ванну права на название «саморегулирующейся». Концентрацию этих солей придется корректировать вручную, а от нее зависит работа ванны.

2. Аналитическое определение иона калия вообще несколько сложно, а в данном случае нельзя его опре-

делить даже косвенно по аниону  $\text{Cr}_2\text{O}_7$  или  $\text{CrO}_4$  из-за наличия в растворе хромового ангидрида.

3. Подобранные разработчиками саморегулирующегося электролита малорастворимые соли — сернокислый стронций и кремнефтористый калий — тем и интересны, что они растворяются как раз в тех количествах, которые нужны для работоспособности ванны. Если снизить растворимость одной из них и притом довольно значительно, чтобы этим эффективно уменьшить растравливающее действие ее аниона, то трудно себе представить, чтобы такая операция не сказалась на каких-нибудь положительных свойствах ванны.

**Саморегулирующийся бариевый электролит СРБА.** В связи с некоторыми специфическими особенностями стронциевого саморегулирующегося электролита, в частности очень густой и не поддающейся регулировке сетки пор при пористом хромировании, перед группой исследователей возникла задача о разработке более удобного варианта.

С этой целью в электролит, содержащий  $250 \pm \pm 25$  г/л хромового ангидрида (максимально допустимое его содержание 200—300 г/л) и избыток малорастворимого кремнефтористого калия (примерно 20 г/л), вместо сернокислого стронция был добавлен сернокислый барий (5 г/л). Как и следовало ожидать, растворимость бариевой соли в растворе хромового ангидрида оказалась меньше растворимости сернокислого стронция, и ванна с содержанием активных анионов, соответствовавшим растворимости кремнефтористого калия и сернокислого бария, не давала доброкачественных покрытий хромом.

Пришлось добавить небольшое количество свободной серной кислоты (0,25—0,50 г/л), что по отношению к хромовому ангидриду составляет 0,1—0,2 %.

Электролит СРБА с добавкой серной кислоты работает точно так же, как саморегулирующийся электролит с сернокислым стронцием. У него такой же высокий выход по току, достигающий до 26 % (при плотности тока 60 А/дм<sup>2</sup> и температуре 65 °С), такой же широкий интервал блестящих покрытий (от 20 до 50 А/дм<sup>2</sup> при 45 °С; от 30 до 80 А/дм<sup>2</sup> при 55 °С и от 40 до 80 А/дм<sup>2</sup> при 75 °С) при такой же повышенной яркости блеска. Молочный хром удается получить только при плот-

ности тока 40—60 А/дм<sup>2</sup> и температуре 85 °С, его блеск ярче, чем у молочного покрытия, полученного из стандартной ванны, но по беспористости и прочим защитным свойствам он аналогичен стандартному молочному хрому. Скорость осаждения (при 60 А/дм<sup>2</sup> и 65 °С в блестящем режиме) составляет 70 мкм/ч (табл. 17). Твердость блестящего хрома, определенная на при-

Таблица 17. Выход по току (%) и скорость осаждения (мкм/ч) при разных режимах покрытия в электролите СРБА

$i_K$ , А/дм <sup>2</sup>	$t$ , °С						
	25	35	45	55	65	75	85
20	26	19	16	15	12	11	—
	(26)	(19)	(13)	(10)	(10)	(10)	—
30	26	20	20	20	19	17	—
	(42)	(26)	(30)	(24)	(25)	(20)	—
40	26	22	19	20	23	20	12
	(64)	(43)	(32)	(37)	(42)	(31)	(21)
50	27	22	21	22	23	21	18
	(73)	(49)	(46)	(46)	(53)	(43)	(40)
60	28	23	22	22	26	23	19
	(98)	(73)	(60)	(57)	(70)	(57)	(43)
70	25	22	20	21	25	22	20
	(99)	(89)	(77)	(61)	(75)	(64)	(57)
80	26	24	22	21	24	24	23
	(113)	(84)	(88)	(74)	(87)	(78)	(77)

Примечания: 1. Сплошной линией отмечена граница между режимами серого и блестящего покрытий, штриховой — граница между режимами блестящего и молочного покрытий; 2. В скобках дана скорость осаждения хрома.

боре ПМТ-3, доходит до 1200 по Виккерсу. Интервал степени густоты сетки трещин при пористом хромировании хотя и немного уже, чем в стандартной ванне, но достаточно широк для промышленных целей и поддается регулированию путем изменения режима покрытия, как и в стандартном электролите (табл. 18).

**Таблица 18. Густота сетки трещин при пористом хромировании в электролите СРБА в зависимости от режима хромирования**

$i_K$ , А/дм <sup>2</sup>	Число площадок между трещинами на 1 мм <sup>2</sup> поверхности			
	при $t$ , °C			
	45	55	65	75
20	3500	—	—	—
30	—	6200	6200	—
40	3200	2700	400	—
50	200	800	200	1600
60	1400	300	200	600
70	—	500	70	300
80	—	500	120	130

К сожалению, растравливающее действие ванны СРБА на сталь вполне аналогично действию строциевой ванны.

Поскольку ванна СРБА содержит некоторое количество свободной серной кислоты, количество которой в принципе не постоянно, то этот электролит, строго говоря, не может быть саморегулирующимся. Однако практически он не требует регулярных анализов не только кремнефтористого калия и сернокислого бария, но и свободной серной кислоты и может очень продолжительное время работать в производственных условиях без коррекции содержания свободной серной кислоты, только нужно время от времени, например, раз в две недели проверять концентрацию серной кислоты очень простым и быстрым способом, описанным ниже. Объясняется это тем, что хотя ГОСТ 2548—69 и допускает содержание в хромовом ангидриде серной кислоты до 0,4 %, но фактически ее почти никогда не бывает больше чем примерно 0,2 %, т. е. как раз требуемое

по рецепту электролита СРБА количество. Таким образом, при коррекции ванны хромовым ангидридом в нее автоматически одновременно вводится нужное количество свободной серной кислоты. В отличие от стронциевой ванны при коррекции ванны СРБА очищать хромовый ангидрид от серной кислоты не нужно.

Быстрый способ контроля свободной серной кислоты в электролите СРБА основан на закономерности, наблюдаемой, хотя и менее отчетливо, и в стандартном электролите, где максимальный выход хрома по току совпадает с наилучшими условиями осаждения хромового покрытия, а эти последние, в свою очередь, связаны с концентрацией активирующих анионов. Поскольку при постоянных температуре и концентрации хромового ангидрида концентрации кремнефторида калия и сульфата бария в растворе постоянны<sup>1</sup>, то возможное изменение выхода по току должно быть связано с изменением концентрации свободной серной кислоты.

На рис. 42, показывающем полученные экспериментальным путем кривые зависимости выхода хрома по току от концентрации свободной серной кислоты, видно, что в режиме блестящих покрытий (при 50 А/дм<sup>2</sup> и 55 °С) кривая имеет большой участок, параллельный оси абсцисс в интервале концентраций серной кислоты от 0,1 до 0,3 % (от концентрации хромового ангидрида). Этот участок соответствует доброкачественным блестящим покрытиям. На аналогичной кривой 2, снятой в режиме молочных покрытий при 45 А/дм<sup>2</sup> и 80 °С, максимальное значение выхода по току выражается не такой четкой и протяженной линией, как у кривой для блестящего хрома, но она вполне позволяет судить о концентрации серной кислоты и корректировать электролит в достаточно широком диапазоне — от 0,1 до 0,2 % свободной серной кислоты (от концентрации хромового ангидрида).

Как видно из кривых, каждой ординате (замеренному выходу по току) соответствуют две точки на кривой с разными абсциссами, означающие разное содер-

---

<sup>1</sup> Конечно, добавка даже небольшого количества свободной серной кислоты несколько уменьшает растворимость сульфата (одноименный ион), но это только улучшает саморегулируемость ванны, тормозя рост концентрации сульфатного иона при небольших избытках свободной кислоты.

жение серной кислоты. Одна из них лежит на левой восходящей ветви кривой, а другая — на правой нисходящей. Однако в натуре различить эти точки очень просто по внешнему виду покрытия. Если полученная точка лежит на восходящей (левой) ветви, то поверхность хрома на электроде для определения выхода по току

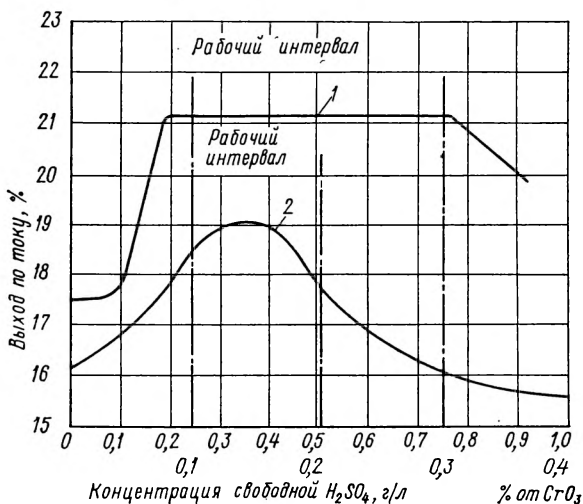


Рис. 42. График для нахождения концентрации свободной серной кислоты в ванне СРБА в зависимости от выхода хрома по току:

1 — для всех режимов блестящих покрытий; 2 — для режима молочных покрытий

(или на деталях, если в этом режиме будут вести хромирование) будет покрыта характерными мелкими черными игольчатыми дендритиками, которые трудно не заметить или с чем-нибудь спутать; при содержании серной кислоты, соответствующем точкам на нисходящей (правой) ветви, поверхность хрома будет чистой. Это характерное явление хорошо заметно и в блестящих и в молочных режимах.

На кривых, изображенных на рис. 42, рабочий интервал содержания свободной серной кислоты ограничен вертикальными линиями с надписью «Рабочий интервал».

Определение выхода по току делается, как описано в п. 55, а подсчет выхода по току в процентах ведется по уравнению (26).

**Приготовление и корректирование саморегулирующихся электролитов.** Все электролиты с малорастворимыми ингредиентами (стронциевый, бариевый) и все электролиты с добавочными ионами калия имеют два общих для них фактора, вносящих некоторое усложнение в их приготовление, корректирование и эксплуатацию.

Малорастворимые соли (кремнефтористый калий и сернокислый стронций или барий) растворяются медленно, насыщение ими раствора осуществляется нескоро. Поэтому при заливке новой ванны нужно приготовленный электролит прогреть до рабочей температуры или несколько выше, выдержать его при этой температуре при частом и энергичном перемешивании в течение 4 ч и проработать током при рабочем режиме тоже в течение 4 ч. В электролите СРБА надо проверить содержание свободной серной кислоты, как сказано выше. Вряд ли понадобится добавка серной кислоты — в примененном хромовом ангидриде ее было достаточно. При плохом ангидриде в ванне может оказаться избыток кислоты, который нужно до начала работы в ванне осадить углекислым барием, как было сказано в п. 49. Если после осаждения углекислым барием раствор не был декантирован с осадка, то нужно быть готовым к тому, что избыток углекислого бария будет продолжать медленно связывать свободную серную кислоту, однако добавить потом немного серной кислоты, пожалуй, проще, чем возиться с декантацией раствора.

В ваннах со стронциевой солью удаление полностью серной кислоты из хромового ангидрида практически обязательно; осаждение нужно вести углекислым стронцием. Неудаленный избыток углекислого стронция не вреден.

После каждого длительного и сильного охлаждения ванны (например, зимой после выходных дней) нужно перед работой прогреть ванну до рабочей температуры при одновременном тщательном перемешивании в течение 2—3 ч, чтобы установилась равновесная концентрация малорастворимых солей, соответствующая рабочей температуре.

При корректировании по ангидриду в ванну добавляют на каждые 100 г введенного ангидрида 6—8 г кремнефторида калия и 1,7—2,0 г сернокислого бария или 2,0—2,5 г сернокислого стронция.

Свежеприготовленная или свежескорректированная ванна иногда начинает давать «набросы», вызванные взмучиванием малорастворимых активных солей, если они были очень мелкозернистыми. В таком случае помогает прогрев ванны до 55—65 °С в течение 10—20 ч при частом перемешивании, а затем отстаивание ванны в течение 30 мин. В результате такой обработки кристаллики малорастворимых солей увеличиваются в размере, оседают на дно и перестают взмучиваться.

Все сказанное в этом параграфе относительно медленной растворимости малорастворимых солей в одинаковой мере относится ко всем типам хромировочных ванн с малорастворимыми солями, саморегулирующихся, СРБА и с добавками ионов калия.

Загружать детали в ванны с кремнефторидами лучше под током.

## **Глава 14. ЦИНКОВАНИЕ**

Цинкование — один из самых распространенных в промышленности видов гальванических защитных покрытий. Высокие защитные (антикоррозионные) свойства этого покрытия обусловлены тем, что в наиболее часто встречающихся коррозионно-активных средах (в сухой и влажной атмосфере, в пресной и морской воде) цинк аноден по отношению к почти всем применяемым металлам (кроме алюминия и магния). Поэтому цинковое покрытие в этих средах всегда будет анодом по отношению к почему-либо обнажившемуся основному металлу изделия, например в порах, трещинах и в местах других повреждений покрытия; в образовавшейся в этих местах гальванической паре цинк — основной металл цинк будет растворяющимся анодом, а основной металл — защищенным от коррозионного воздействия среды катодом. Однако не следует забывать, что если дефект покрытия будет так велик по площади, что капля росы или дождя не перекроет его и не обра-

зует сплошной жидкостной электролитной цепи, замыкающей участок обнаженного основного металла с цинковым покрытием в единый гальванический элемент, то обнаженный основной металл гальванической защиты не получит.

## 59. Электролиты для цинкования

Помимо наиболее распространенных электролитов: цианистого, сернокислого и аммиакатного, встречающихся в многочисленных вариантах, были предложены еще около десятка разных (по основному аниону) типов. Прочно вошли в обиход только первые два, аммиакатный, как показала двадцатилетняя эксплуатация, обладает существенными недостатками, сильно снижающими его достоинства.

Литература по цинкованию весьма обширна, к ней мы и рекомендуем обратиться заинтересованным читателям. Здесь же ограничимся только некоторыми советами относительно применения наиболее распространенного сернокислого электролита для увеличения производительности форсирования цинкования мелких деталей в колоколах. Ниже приводится подробное описание применявшейся автором на протяжении нескольких лет производственной технологии.

Наиболее распространен предложенный проф. Н. Т. Кудрявцевым электролит следующего состава (г/л):

Сернокислый цинк $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	215
Сернокислый алюминий $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	30
или	
Алюмокалиевые квасцы $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$	50
Сернокислый натрий $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	160
Декстрин (желтый)	10

Назначение сернокислого алюминия (или квасцов) состоит в том, чтобы автоматически поддерживать кислотность электролита в пределах  $\text{pH} = 3,5 \div 4,5$ , что является оптимальной кислотностью для нормальной работы сернокислого цинкового электролита. Эффективность буферного действия сернокислого алюминия и алюмокалиевых квасцов объясняется тем, что обе эти соли гидролизуются как раз в этом же интервале кислотности, распадаясь на серную кислоту и белые

хлопья гидрата окиси алюминия. Если в силу каких-либо внешних причин изменится кислотность электролита ( $\text{pH} > 4,5$  или  $\text{pH} < 3,5$ ), то некоторое количество квасцов гидролизуеться с выделением серной кислоты или, наоборот, излишняя кислота растворит часть взмученного гидрата окиси алюминия, и электролит вернется к нормальному интервалу кислотности ( $\text{pH} = 3,5 \div 4,5$ ). Цинковый электролит должен всегда быть немного мутным вследствие содержания в нем гидрата окиси алюминия. Постоянное присутствие небольшого количества этого осадка в электролите необходимо для непрерывной нейтрализации случайно образовавшегося избытка кислоты. Однако, как правило, в сернокислом цинковом электролите идет противоположный процесс понижения содержания кислоты, как за счет чисто химического (без действия тока) растворения анодов, так и за счет весьма интенсивного растворения цинкового покрытия на деталях. Это растворение цинка на деталях вызвано специфическими условиями цинкования мелких деталей при их обработке навалом во вращающемся оборудовании, о чем подробнее будет сказано ниже.

Слишком большое содержание гидрата окиси алюминия в электролите, придающее ему вид свернувшегося молока, нежелательно, ибо это может означать, что все количество содержавшегося в электролите сернокислого алюминия (или квасцов) гидролизовалось и его способность буферировать исчерпана. В этом случае надо добавить в ванну немного чистой серной кислоты. Наоборот, если электролит совершенно прозрачен, без мути, надо добавить немного кальцинированной соды до появления явственной мути. Изменения мутности электролита при выходе  $\text{pH}$  за пределы  $3,5 - 4,5$  настолько очевидны и характерны, что по ним вполне можно корректировать кислотность сернокислого цинкового электролита без помощи лабораторных приборов.

Величину  $\text{pH}$  электролита можно быстро определить также с помощью индикаторных бумажек типа «Рифан», которые широко используются в гальванических цехах для контроля различных растворов. Сернокислый натрий увеличивает электропроводность электролита, что снижает потребное напряжение источника

постоянного тока и заметно улучшает работу ванны. Снижение потребного напряжения особенно важно для колоколов и барабанов.

Добавка декстрина сказывается благоприятно не только на внешнем виде и гладкости цинкового покрытия, но и очень существенно улучшает рассеивающую способность цинкового электролита, позволяя цинковать сравнительно сложнопрофилированные изделия. Декстрин надо предварительно размешать в холодной воде (примерно 1 кг на ведро воды), повесить это ведро в бачок с почти кипящей водой и прогреть при частом помешивании при 70 °С, доведя его до прозрачности (хотя, конечно, раствор остается окрашенным в темно-желтый цвет), на что требуется около получаса времени, после чего горячий раствор выливают в ванну с электролитом и размешивают. Такой способ подготовки декстринового раствора, разработанный проф. Н. Т. Кудрявцевым [4], значительно повышает эффективность его действия.

Декстрин выпускается трех сортов: желтый, палевый и белый. Для добавки в цинковую ванну нужно применять желтый. Следует избегать излишка декстрина в ванне (не более 20 г/л), избыток вреден.

#### **60. Увеличение производительности цинкования мелких деталей в колоколах**

Для увеличения производительности колоколов, в которых цинковали мелкие детали, надо было увеличить силу тока, идущего через колокол, свыше обычной для колокола данного объема. В серноокислом цинковом электролите это вызвало сильный перегрев электролита, что существенно ухудшило внешний вид, цвет и гладкость покрытия. Поэтому была предпринята попытка заменить серноокислый электролит на цинкатный, для которого температура 50 °С является нормальной рабочей температурой. Действительно, после такой замены силу тока на колоколе оказалось возможным поднять вдвое, но выход по току упал тоже вдвое. Таким образом, увеличить производительность не удалось. Причина этой непредвиденной неудачи заключается в том, что в колоколе с цинкатным электролитом на

аноде обильно выделяется кислород, так как большая плотность тока на аноде усиливает склонность анодов к пассивированию и без того присущую цинкатоному электролиту. Кислород вследствие малого объема электролита и интенсивного перемешивания диффундирует к деталям, деполяризует и облегчает выделение на них водорода вместо более электроотрицательного цинка, выход которого по току резко падает. Напомним, что электролитическое осаждение цинка из кислого электролита возможно только благодаря высокому перенапряжению водорода на цинке в обычных условиях (без воздействия кислорода). Следовательно, цинкатоный электролит вряд ли пригоден для колоколов.

При электрической нагрузке 80—90 А на колокол объемом 35 л с сернокислым электролитом раствор в нем нагревается до 50—55 °С, цинк оседает темным и шероховатым, но с выходом по току, близким к 100 %, и без подгара или губчатого покрытия. Шероховатость можно легко устранить, если по окончании цинкования, не выгружая детали и не сливая электролит, выключить ток (лучше вынуть анод) и прокрутить детали в колоколе с нагретым до 50—55 °С электролитом 10—15 мин. Это вращение в слабокислом растворе без тока, по сути дела, является мокрой галтовкой, в результате которой изделия получают весьма гладкую и красивую поверхность.

Конечно, во время мокрой галтовки происходит некоторое истирание и стравливание цинка. Проведенные измерения показали, что потеря толщины покрытия составляет 0,7—1,2 мкм за 10—15 мин галтовки, что окупается увеличением производительности оборудования.

Нагружать 35-литровые колокола силой тока более 90 А не следует, это потребовало бы увеличения напряжения источника тока свыше 12 В, вызвало бы слишком большой нагрев и испарение раствора и создало бы опасность подгара или образования губчатого покрытия.

Ускоренный процесс цинкования применялся на производстве в течение нескольких лет и за все это время от заводов-потребителей не поступило ни одной рекламации на качество цинкования.

## 61. Технология форсированного цинкования мелких деталей в колоколах

Для обеспечения стабильности производственного процесса оказалось необходимым разработать и тщательно соблюдать нижеприводимую технологию, несложную и легко выполнимую.

Рекомендуются следующие способы работы.

**Загрузка деталей в колокола.** Загрузка колоколов производится обязательно по взвешиванию. Загрузка по объему («до верхнего края корзины») давала очень большой разбой в размерах фактически загруженной поверхности деталей, следовательно, и в продолжительности электролиза и в толщине покрытия. Ошибка при загрузке по объему составляет часто  $\pm 20\%$  и больше. Загрузка взвешенных деталей массового производства позволяет точно рассчитать продолжительность электролиза для получения покрытия заданной толщины.

**Компоновка деталей по группам.** Технологический процесс предусматривал разбивку всех цинкуемых деталей на очень небольшое количество групп, в каждую из которых входили детали, близкие по условиям электролиза (поверхность на единицу массы, толщина покрытия и пр.). Для всех типов деталей каждой группы продолжительность электролиза и масса загрузки были одинаковые, а толщина покрытия не менее заданной, но и не более разрешенного ГОСТ 9.074—77 допуска.

**Регулирование температуры и концентрации электролита.** Для регулирования температуры и концентрации электролита в цехе были установлены два больших бака; вместимость каждого из них равнялась примерно двойному объему колоколов. При разгрузке колокола весь его электролит сливается в приемный бак, закрытый сеткой, на которой остаются детали. Из бачка половина электролита сливается в первый «горячий» бак, а вторая половина — обратно в колокол, в который затем до обычного уровня доливается электролит из второго «холодного» бака, после чего в колокол загружают следующую партию деталей. Таким образом, в начале электролиза следующей партии электролит в колоколе был хотя и несколько охлажденный, но теплый, и Джоулева теплота тока бы-

стро разогревала его до нормальной устойчивой рабочей температуры (50—55 °С). Исключение составляла только первая загрузка деталей после 24-часового перерыва, которую приходилось держать под током немного дольше обычного, чтобы прогреть остывший электролит до нормальной температуры и компенсировать пониженную за время прогрева силу тока. За 12 ч в деревянном или утепленном металлическом баке температура снижалась мало.

Когда первый «горячий» бак заполнялся почти доверху, в него доливалась при помешивании холодная вода вместо испарившейся при электролизе для доведения плотности электролита до нормы, что определялось обязательно по ареометру, плававшему в баке. За норму была принята плотность электролита, свежеприготовленного по рецепту проф. Н. Г. Кудрявцева, с увеличенным до 160 г/л содержанием сернокислого натрия; эта плотность составляла 1150 кг/см<sup>3</sup> и ее поддерживали с точностью  $\pm 5$  кг/м<sup>3</sup>, — большие отклонения неблагоприятно сказывались на стабильности работы электролита. Доливка холодной воды и естественное охлаждение в интервалах между разгрузками колоколов снижали температуру электролита в «горячем» баке настолько, что его теперь можно было использовать в качестве «холодного» бака для доливки в колокола достаточно теплого, но не слишком горячего раствора, а бывший «холодный» бак использовать в качестве «горячего» для слива раствора из колоколов. Система этих двух баков работала очень устойчиво, надежно и просто, хотя, конечно, желательно было бы для облегчения труда гальваников механизировать слив и залив электролита в колокола и баки при помощи кислотоупорного насоса или вакуум-насоса для его всасывания в вакуумированный напорный бак, расположенный выше колоколов (в последнем случае вакуум-насос легко обезопасить от контакта с коррозионно-активным электролитом).

**Корректирование электролита.** Корректирование электролита требуется только по кислотности (кроме описанной выше коррекции плотности). Раз в 8 ч в «холодный» бак добавляют химически чистую серную кислоту, количество которой примерно всегда одинаково (если не бывает резких изменений в характере и

количестве цинкуемой продукции) и может быть установлено опытным путем; особая точность не нужна: лишь бы была в «холодном» баке с электролитом слабая, не слишком густая муть гидрата окиси алюминия. Обычно требуется добавлять примерно 2—3 л крепкой химически чистой серной кислоты на 1 м<sup>3</sup> электролита через 8 ч работы колоколов.

Практика показала, что неизбежные потери раствора при работе в колоколах настолько значительны (в месяц теряется количество электролита, равное примерно четырех-пятикратной суммарной вместимости всех колоколов), что корректировать электролит по его компонентам не требуется, его приходится просто полностью заменять новым.

О важности большой поверхности анодов для колоколов и о способе их изготовления сказано в гл. 3. Когда масса такого анода с развитой поверхностью снижается за счет его растворения примерно до  $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{4}$  первоначальной, его заменяют новым, а «обсосок» старого отправляют на переплавку. Для того чтобы возможно меньше задерживать работу колоколов из-за смены анодов, в цехе должны стоять наготове анододержатели с заправленными в них свежими анодами.

## **Глава 15. УДАЛЕНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ**

Для снятия гальванического покрытия пригоден только такой способ, который, удаляя покрытие, не повреждает основной металл или металл подслоя. Поэтому каждый способ снятия предназначен для удаления только определенного металла покрытия с определенного основного металла изделия.

### **62. Снятие никелевого покрытия со стали и меди**

Для снятия никелевого покрытия со стали в литературе предлагается несколько химических и электрохимических способов, однако при применении их значительно растравливается основной металл. Это вы-

нуждает после снятия покрытия шлифовать детали на накатных кругах с абразивом, что, однако, не всегда возможно, ибо искажает размеры и форму предмета

Очень хорошие результаты дает способ, основанный на том же принципе, что и описанный в гл. 10, п. 35 способ анодного активирования стали с пассивированием. Принцип заключается в том, что для анодной обработки выбирается такая концентрация электролита (серной кислоты) и такой режим (температура и анодная плотность тока), при которых сталь легко и быстро пассивируется, а никель не пассивируется ни при каких режимах, которые могли бы случайно создаться в производстве при снятии никелевого покрытия. Эти условия таковы.

Электролитом служит серная кислота марки «химически чистая» или «аккумуляторная». Очень важно отсутствие или ничтожное содержание в ней хлорид-иона. Техническая серная кислота непригодна. Никаких добавок в электролите не требуется.

Концентрация серной кислоты не должна превышать 40 % массовых. Предпочтительно применять 30 %-ную кислоту, так как при этой концентрации раствор обладает наивысшей электропроводностью, что выгодно в отношении экономии расхода электроэнергии, малого требуемого напряжения источника тока (достаточно 6 В), повышенной рассеивающей способности, возможности работы при большой плотности тока (при которой нагрев джоулевой теплотой невелик вследствие малого омического сопротивления раствора) и значительной растворимости сернокислого железа в кислоте такой концентрации, благодаря чему оно не выпадает в осадок и не мешает процессу.

Температура раствора должна быть комнатной (18—20 °С), допустимо превышение до 30 °С. При высоких температурах железо не пассивируется.

Плотность тока должна быть в химически чистой кислоте не ниже 5—7 А/дм<sup>2</sup>, а в аккумуляторной кислоте — не ниже 10—15 А/дм<sup>2</sup>. Верхний предел плотности тока ограничен только мощностью источника тока и опасностью разогрева электролита джоулевой теплотой (объемная плотность тока не должна превышать 0,5—0,75 А/л).

Как видим, это те же условия, что и для анодной активации с пассивированием, только верхний предел плотности тока не ограничен необходимостью обеспечить некоторую заметную продолжительность активного периода, как при активировании.

По мере того как никелевое покрытие снимается и обнажается железо, на оголенных участках начинается выделение кислорода и их пассивирование, поэтому перетравливания детали опасаться не приходится. Заметить полноту снятия никеля иногда удается по бурному газовыделению, но чаще приходится периодически вынимать деталь для осмотра, что никаких существенных нарушений процесса не вызывает.

Подвешивать детали можно на железной или медной проволоке, удобнее каждое изделие завешивать отдельно. Легкие изделия надо завешивать на пружинящем прочном контактном крючке. Групповые стальные подвесочные приспособления (рамки или елочки) могут быть плохо изолированы. В этом случае они сами пассивируются. Из-за газообразования на них нельзя рассмотреть, идет ли газообразование по всей поверхности детали, т. е. полностью ли снято с нее покрытие. К тому же при пользовании подвесочными приспособлениями, вмещающими несколько деталей, нет возможности извлекать отдельные детали по мере их готовности, хотя весьма значительные передержки готовых деталей под током (порядка до получаса) допустимы.

Поверхность стальных деталей после снятия никеля получается несколько хуже, чем после анодной активации с пассивированием, однако шлифования на накатных кругах с абразивом никогда не требуется, вполне достаточно легкого глянцеования на войлочном или тряпочном круге с пастой. Очень часто поверхность деталей получается такой же, как после анодной активации с пассивированием, и их можно после обычной промывки сразу же завешивать в ванну для повторного никелирования.

Интересно, что и анодной активации, и снятию никеля не вредит весьма значительное накопление в ванне никеля и железа — до интенсивно-зеленого цвета раствора. Это позволяет иногда пользоваться одной и той же ванной для обоих процессов, но при

большой загрузке лучше иметь отдельную ванну для каждого процесса.

С меди и медного подслоя никель снимается тем же способом, который описан для его снятия со стали; медь тоже пассивируется на аноде в серной кислоте, только при значительно более высокой плотности тока — при работе в аккумуляторной серной кислоте плотность тока должна быть не меньше 30—35 А/дм<sup>2</sup>. Концентрация кислоты 30 % и температура комнатная (18—20 °C).

Снять никель с латуни, не повредив ее, не удастся ни при каком режиме. Латунь сильно растравливается.

### 63. Снятие медного покрытия со стали

Медное покрытие снимается со стали без тока и без нагрева в водном растворе следующего состава (г/л):

Хромовый ангидрид $\text{CrO}_3$	300
Аммоний серноокислый $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	120

Концентрация хромового ангидрида не должна быть существенно меньше 300 г/л, так как в более слабых растворах иногда наблюдается едва заметное подтравливание стали. При концентрации хромового ангидрида 300 г/л и выше растворения железа обнаружено не было. Замена часто рекомендуемой добавки серной кислоты на серноокислый аммоний сильно ускоряет процесс снятия меди, вероятно, за счет образования комплекса меди с ионом аммония. Хотя процесс растворения меди и так протекает быстро, но его можно еще ускорить, если при обработке раствором протирать изделие тряпкой или паклей.

В литературе по гальванотехнике иногда рекомендуется проводить обработку этим раствором под током на аноде. Это вряд ли целесообразно, потому что в растворе хромового ангидрида сталь на аноде весьма заметно растворяется.

### 64. Снятие хромового покрытия со стали и меди без тока и под током

Снятие хромового покрытия со стали и меди без тока. Снятие хромового покрытия осуществляется в растворе соляной кислоты 10—50 % (1 часть соляной

кислоты с содержанием хлористого водорода 38 %, разбавленная 9—10 частями воды) с добавкой ингибитора травления, например, КС 1—3 %. При снятии хрома с меди ингибитор не нужен, но раствор соляной кислоты не должен содержать никаких легко восстанавливающихся ионов, в первую очередь — ионов трехвалентного железа; поэтому не следует для снятия хрома с меди применять раствор соляной кислоты, в котором снимали хром со стали, так как железо, растворившееся в виде двухвалентных ионов, легко окисляется воздухом до трехвалентного, а это последнее содействует растворению меди в соляной кислоте вследствие окислительного действия своих ионов.

**Снятие хромового покрытия со стали под током.** Снятие хрома со стали производится в 10 %-ном растворе едкого натра  $\text{NaOH}$  при комнатной температуре, на аноде, при плотности тока 10—15 А/дм<sup>2</sup>. Несмотря на сравнительно небольшую плотность тока снятие происходит довольно быстро, так как хром растворяется в виде трехвалентных ионов и выход по току при этом близок к 100 %. После снятия хрома на стали иногда остается тончайшая темная пленка окислов, легко удаляемая в обычной ванне активирования, без опасности искажения размеров.

**Снятие хромового покрытия со стали и алюминия в хромировочной ванне.** Если почему-либо нельзя снять хром с изделия в щелочной ванне, то можно сделать это в производственной хромировочной ванне, повесив изделие на анод и используя в качестве катода стальной лист. Таким же образом можно снять хром и с алюминия (в щелочной ванне алюминий был бы растравлен), хотя для алюминия лучше, но не обязательно, применить электролит с концентрацией хромового ангидрида 100—150 г/л.

Однако при частом использовании хромировочной ванны для таких целей лучше установить отдельную ванну, потому что хром с анода переходит в раствор в виде трехвалентного, что потребует частых перерывов в эксплуатации производственной ванны для ее проработки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. Вячеславов П. М., Шмелева Н. М. Методы испытаний электролитических покрытий. Л.: Машиностроение, 1977. 88 с. (Б-чка гальванотехника).
2. Грилихес С. Я. Обезжиривание, травление и полирование металлов. Л.: Машиностроение, 1977. 112 с. (Б-чка гальванотехника).
3. Ильин В. А. Цинкование, кадмирование, лужение и свинцевание. Л.: Машиностроение, 1977. 96 с. (Б-чка гальванотехника).
4. Инженерная гальванотехника в приборостроении/Под ред. А. М. Гинберга. М.: Машиностроение, 1977. 512 с.
5. Лайнер В. И., Кудрявцев Н. Т. Основы гальваностегии. М.: Металлургиздат, 1953. Ч. 1. 624 с. 1957. Ч. 2. 647 с.
6. Черкез М. Б., Богорад Л. Я. Хромирование. Л.: Машиностроение, 1978. 104 с. (Б-чка гальванотехника).
7. Ямпольский А. М. Меднение и никелирование. Л.: Машиностроение, 1977. 112 с. (Б-чка гальванотехника).

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
<b>Раздел I. Некоторые виды оборудования и приспособлений, применяемых в гальванических цехах</b>	<b>4</b>
<b>Глава 1. Стационарные ванны</b>	<b>—</b>
1. Габаритные размеры ванн	5
2. Материалы и конструкция ванн	6
3. Футеровка ванн	7
4. Сварочная горелка для сварки винипласта и хлорвинилового пластиката	16
5. Футеровка хромировочных ванн армированным стеклом	19
6. Обогрев ванн	21
7. Специальные конструкции ванн	32
8. Межоперационная промывка	41
9. Конструкция промывочных ванн	45
10. Монтаж и эксплуатация ванн	50
<b>Глава 2. Оборудование для гальванической обработки мелких деталей</b>	<b>54</b>
11. Колокола	56
12. Барабаны для покрытия	67
13. Изготовление и эксплуатация оборудования для гальванической обработки мелких деталей	74
<b>Глава 3. Аноды</b>	<b>77</b>
14. Роль анодов в гальваническом процессе	78
15. Эксплуатация анодов	82
16. Использование отходов растворимых анодов	86
<b>Глава 4. Электроснабжение ванн</b>	<b>90</b>
17. Источники постоянного тока	91
18. Распределительный щит ванны	95
19. Специальные схемы питания ванн	100
<b>Глава 5. Подвесочные приспособления</b>	<b>103</b>
20. Типы приспособлений для навешивания деталей в ванны	104
21. Детали конструкции подвесочных приспособлений	107

22. Защитные приспособления	117
23. Некоторые специальные конструкции подвесочных приспособлений	120
24. Эксплуатация подвесочных приспособлений	124
<b>Глава 6. Вентиляция гальванических цехов</b>	126
25. Принципы расчета вентиляционных систем	127
26. Местные отсосы у оборудования	128
<b>Глава 7. Шлифование, полирование и глянцеование</b>	131
27. Шлифование	—
28. Способы шлифования	139
29. Полирование и глянцеование	140
<b>Глава 8. Сухое и мокрое галтование</b>	144
30. Оборудование для галтования	145
31. Эксплуатация галтовочного оборудования	146
<b>Глава 9. Химическое и электрохимическое обезжиривание</b>	148
32. Обезжиривающие растворы	150
33. Завершающие и контрольные операции	151
<b>Глава 10. Химическое активирование и электрохимическое активирование с пассивированием</b>	152
34. Химическое активирование	153
35. Электрохимическое активирование стали с пассивированием	155
<b>Раздел II. Покрытия</b>	158
<b>Глава 11. Никелирование</b>	—
36. Серноокислые никелевые электролиты	—
37. Сульфаматные никелевые электролиты . . . . .	162
38. Влияние режима покрытия на механические свойства никелевых покрытий из сульфаматных электролитов . . . . .	165
39. Эксплуатация сульфаматных электролитов	167
40. Никелевые специальные покрытия	170
41. Композиционные покрытия сил-никель	172
42. Загрязнения в никелевых электролитах . . . . .	174
43. Очистка никелевых электролитов от неорганических и органических загрязнений	179
<b>Глава 12. Меднение</b>	183
44. Серноокислый электролит для меднения	184
45. Загрязнения в серноокислой медной ванне	185
46. Медные покрытия для специальных целей	186
<b>Глава 13. Хромирование</b>	188
47. Электролиты для хромирования . . . . .	—
48. Режим хромирования в стандартном электролите	190
49. Корректирование стандартного хромировочного электролита . . . . .	194

50. Загрязнения в стандартном хромировочном электролите . . . . .	198
51. Аноды в хромировочной ванне . . . . .	200
52. Защитно-декоративное хромирование . . . . .	202
53. Современные виды защитных хромовых покрытий . . . . .	203
54. Химические и механические свойства хромовых покрытий . . . . .	205
55. Твердое хромирование . . . . .	209
56. Вспомогательные операции при хромировании . . . . .	220
57. Пористое хромирование . . . . .	222
58. Саморегулирующиеся электролиты . . . . .	224
<b>Глава 14. Цинкование . . . . .</b>	<b>233</b>
59. Электролиты для цинкования . . . . .	234
60. Увеличение производительности цинкования мелких деталей в колоколах . . . . .	236
61. Технология форсированного цинкования мелких деталей в колоколах . . . . .	238
<b>Глава 15. Удаление гальванических покрытий . . . . .</b>	<b>240</b>
62. Снятие никелевого покрытия со стали и меди . . . . .	—
63. Снятие медного покрытия со стали . . . . .	243
64. Снятие хромового покрытия со стали и меди без тока и под током . . . . .	—
<b>Список литературы . . . . .</b>	<b>245</b>

ИБ № 3533

Сергей Александрович Лобанов

# **ПРАКТИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ ГАЛЬВАНИКУ**



Редакторы *Н. С. Аникиева, Г. Г. Степанова*  
Художественный редактор *С. С. Венедиктов*  
Технический редактор *Т. Н. Витошинская*  
Корректор *А. И. Лавриненко*  
Переплет художника *В. Н. Потехушина*

Сдано в набор 24.01.83. Подписано в печать 12.08.83. М-42574. Формат 84×108/32. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 13,02. Усл. кр.-отт. 13,02. Уч.-изд. л. 13,51. Тираж 50 000 экз. Заказ 64. Цена 1 р. 10 к.

Ленинградское отделение ордена Трудового Красного Знамени издательства «Машиностроение» 191065, Ленинград, ул. Дзержинского, 10.

Ленинградская типография № 6 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 193144, Ленинград, ул. Мойсеенко, 10