

021.55 К.5

Г-839

БИБЛИОТЕЧКА



ГАЛЬВАНОТЕХНИКА

С. Я. ГРИЛИХЕС

**ОБЕЗЖИРИВАНИЕ,  
ТРАВЛЕНИЕ  
И ПОЛИРОВАНИЕ  
МЕТАЛЛОВ**

Рецензент канд. техн. наук С. П. Шурыкова

Грилихес С. Я.

Г83 Обезжиривание, травление и полирование металлов/ Под ред. П. М. Вячеславова.— Изд. 5-е, перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983.— 101 с., ил.— (Б-чка гальванотехника; Вып. 1).

45 к.

Рассмотрены процессы подготовки поверхности изделий перед осаждением на них химических и электрохимических покрытий: механическая обработка, обезжиривание, травление, активирование, химическое и электрохимическое полирование.

Пятое издание (4-е изд. 1977 г.) дополнено описанием новых методов подготовки поверхности с применением ультразвука, вибрационных установок, составов растворов для очистки поверхности металлов без применения токсических и пожароопасных растворителей, новых растворов для химического и электрохимического полирования, а также методов контроля процессов и качества очистки поверхности.

Брошюра предназначена для рабочих, лаборантов, мастеров гальванических цехов.



© Издательство «Машиностроение», 1983 г.

Процесс превращения металла в изделие связан с механическим, химическим и термическим воздействиями, которые приводят к значительным изменениям его поверхностного слоя. Под влиянием прокатки, точения, фрезерования или других видов механической обработки происходит деформация кристаллической структуры металла, в результате чего в поверхностном слое скапливаются концентраторы напряжений, а также инородные включения, скрытые дефекты в виде раковин, микротрещин. На поверхности изделия помимо подобных дефектов и следов механической обработки остаются различные загрязнения. Все это оказывает неблагоприятное влияние на механические, электрические и другие эксплуатационные характеристики изделий. Риски, раковины, микрошероховатости на поверхности металла снижают его стойкость против коррозии, уменьшают отражательную способность, прочностные характеристики.

Применительно к гальванотехнике особенно большое значение приобретает состояние поверхности металла, на которую наносят защитно-декоративные покрытия. Имеющиеся на ней жировые загрязнения, окисные, солевые пленки препятствуют равномерному осаждению покрытия, прочному сцеплению с основой, способствуют увеличению пористости осадков. Неблагоприятное влияние оказывают жировые загрязнения и на прочность сцепления с металлом лакокрасочных покрытий. Наличие таких загрязнений и продуктов коррозии препятствует доброкачественной сварке металлов.

Качество гальванических покрытий и некоторые эксплуатационные характеристики изделий в значительной мере зависят от того, насколько рационально были выбраны способы их предварительной обработки и как тщательно эта обработка была проведена.

Так как гальванические покрытия практически повторяют микрорельеф поверхности, на которую они наносятся, хороший декоративный вид изделий может быть достигнут только в случае их предварительной тщательной чистовой подготовки.

Дефекты поверхности металлов и загрязнения удаляются механической, химической и электрохимической обработками. К ним относятся шлифование, полирование, крацевание, струйно-абразивная обработка, обезжиривание, травление, активирование. В некоторых случаях эти процессы применяются и для чистки деталей перед сваркой, монтажом аппаратуры или для декоративной отделки готовых изделий.

В настоящей работе приводятся основные сведения о процессах механической обработки поверхности деталей перед нанесением покрытий, химическом и электрохимическом обезжиривании, травлении и полировании, специальном применении некоторых из этих процессов. По сравнению с предыдущим изданием уточнены или приведены новые составы электролитов, режимы обработки различных металлов и сплавов, технологические рекомендации. Эти сведения даются на основании опубликованных в последние годы литературных материалов, опыта работы промышленных предприятий, а также работы автора в области химической и электрохимической обработки металлов и сплавов.

Г 2704070000-080  
038(01)-83 80-83

ББК 34.663  
6П4.52

# 1. МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПЕРЕД ОСАЖДЕНИЕМ ПОКРЫТИЙ

## 1. Способы механической обработки

Механическая обработка поверхности деталей перед осаждением покрытий преследует цель очистить ее от продуктов коррозии, внешних дефектов, уменьшить шероховатость поверхности, придать декоративный блеск. Часто она является также заключительной отдельной операцией в технологическом процессе, например, при глянцевании покрытий или декоративной отделке деталей из легированных сталей, не имеющих защитных покрытий.

Параметры шероховатости поверхности деталей устанавливаются с учетом вида и назначения применяемых гальванических покрытий. Если их наносят из электролитов с блескообразующими добавками, то параметр  $Ra$  — среднее арифметическое отклонение профиля (ГОСТ 2789—81) — должен быть не выше 0,20—0,10. Для полублестящих и матовых покрытий допускается  $Ra$  3,2—0,80. Перед окислированием стали ее поверхность должна иметь  $Ra$  1,60—0,20, а перед фосфатированием — 3,2—1,6. Детали из алюминия и его сплавов, на которые наносят твердые или электроизоляционные покрытия, предварительно подвергают чистовой обработке, с тем чтобы обеспечить получение параметра  $Ra$  не ниже 0,80.

Следует учитывать, что при осаждении никелевых и хромовых покрытий шероховатость поверхности, по сравнению с исходной, почти не изменяется, а при цинковании и фосфатировании параметр  $Ra$  может несколько увеличиться. Осаждение покрытий из электролитов, содержащих специальные выравнивающие добавки, способствует некоторому уменьшению исходной шероховатости поверхности деталей.

Трудоемкость операций механической чистовой обработки в общем объеме защитно-декоративной отделки изделий достигает 60—70%. Это указывает на необходимость обоснованного выбора способов обработки, их усовершенствования, применения новых, интенсифицированных способов и, в особенности, снижения затраты ручного труда.

Основными способами механической обработки поверхности деталей перед осаждением покрытий являются шлифование абразивными кругами и лентами, в барабанных и вибрационных установках; полирование кругами и лентами с полировочными пастами, а также полирование в барабанных и вибрационных установках; крацевание; виброобкатка; струйная абразивная и гидроабразивная обработка.

Шлифование эластичными абразивными кругами позволяет достигнуть шероховатости поверхности, соответствующей  $Ra$  1,60—0,10, а последующее полирование с применением паст —  $Ra$  0,05—0,012. Применение шлифовальных и полировальных кругов и лент связано с использованием для выполнения отделочных операций ручного труда. Следует учитывать, что ленты, по сравнению с кругами, позволяют одновременно обрабатывать сравнительно большую поверхность, что особенно важно при обработке деталей сложной конфигурации. Использование шлифовальных и полировальных лент облегчает решение задачи автоматизации и механизации операций чистовой обработки.

Значительно менее трудоемкой является обработка деталей в барабанных установках, куда они загружаются насылью в большом количестве. Такому шлифованию целесообразно подвергать детали, не имеющие жестких допусков, изготовленные литьем, штамповкой, черновым точением. При этом параметр шероховатости исходной поверхности  $Ra$  3,2—1,60 может быть понижен до  $Ra$  0,80—0,20. Полированию в барабанных установках подвергаются детали, поверхность которых характеризуется параметром шероховатости  $Ra$  1,60—0,80 и требуется понизить его до  $Ra$  0,40—0,20.

Технико-экономическая эффективность при обработке деталей насылью в установках контейнерного типа может быть значительно повышена путем использования вибрации или так называемого планетарного вращения. Если в барабанных установках сглаживающее воздействие шлифовального или полировального материала проявляется, в основном, в слое деталей толщиной несколько сантиметров, то замена вращательного движения барабана на колебательные движения виброконтейнера приводит к тому, что это действие распространяется на всю массу деталей. Загрузка контейнера увеличивается до 80% его объема, а производительность процесса, по сравнению с шлифованием в барабанных установках, возрастает почти в 10 раз. При этом одинаково хорошо обрабатываются как внешняя, так и внутренняя поверхности деталей, даже если они сложной конфигурации.

Способ обработки деталей с использованием планетарного вращения основан на сочетании вращения системы относительно центральной оси и дополнительном вращении барабанов вокруг своей оси. Образующийся при этом под действием центробежных сил внутри барабана на поверхности абразивной массы скользящий слой перемещается в направлении, противоположном вращению барабанов, что способствует интенсификации процесса сглаживания поверхности металла. При этом рабочий абразивный слой уплотняется, прижимается к поверхности деталей и скользит по ней. Производительность планетарных установок в 7—10 раз выше, чем обычных барабанных [3].

Интенсивность обработки деталей в контейнерных и барабанных установках повышается, если сочетать механическое воздействие на металл абразивного или полирующего материала с химическим. Кислая среда способствует разрыхлению и отделению от поверхности металла слоя окислов, щелочная — смягчает режущее действие абразивов и облегчает удаление загрязнений. Добавки поверхностно-активных веществ или ингибиторов коррозии улучшают качество чистовой обработки. Барабанные и контейнерные установки особенно целесообразно использовать для обработки мелких деталей, прежде всего в условиях массового производства.

Крацевание с помощью проволочных или волосяных щеток применяется для сглаживания неровностей поверхности деталей и в ряде случаев для некоторого уплотнения покрытий, в особенности серебряных и золотых. Крацевание деталей, для которых  $Ra$  3,2—8,0, приводит к уменьшению шероховатости. Если же  $Ra$  ниже указанных значений, то крацевание может привести к ухудшению качества поверхности.

Процесс шлифования независимо от способа заключается в механическом снятии тонкого поверхностного слоя металла. При

этом уменьшение шероховатости, т. е. высоты микровыступов, происходит, главным образом, за счет срезания их абразивными зернами. Съем металла при шлифовании составляет 0,01—0,03 мм, а при использовании грубого абразива может достигать 0,1—0,2 мм и более.

Абразивные материалы, применяемые при шлифовании и полировании, разделяются на четыре группы (ГОСТ 3647—80): шлифзерно, зернистостью от 16 до 200 (160—2500 мкм), шлифпорошки, зернистостью от 3 до 12 (28—160 мкм), микропорошки, зернистостью от М14 до М63 (10—63 мкм), тонкие микропорошки, зернистостью от М5 до М10 (3—10 мкм). Для предварительного грубого шлифования используют шлифзерно зернистостью 40—50, для чистового шлифования — 16—25, для полирования — микропорошки, зернистостью М7—М14.

Наиболее распространенным инструментом для шлифования служат круги различной твердости из войлока или другого материала, на которые с помощью клеевой связки наносят абразив. В меньшем объеме используются бесконечные ленты с абразивным слоем.

Абразивным шлифованием можно сгладить грубые неровности, шероховатости, но нельзя достигнуть блеска поверхности. Интенсивное сглаживание и декоративный блеск удается получить лишь с помощью полирования. Этот процесс выполняется с использованием специальных паст, наносимых на мягкий эластичный круг, и сопровождается весьма небольшим съемом металла. Сглаживание микрошероховатостей в этом случае происходит не столько за счет срезания выступающих участков микрорельефа, сколько за счет перераспределения металла на поверхности, витриания его на участках микровпадин. При этом большую роль играют химические и термические процессы, развивающиеся под действием полировочных паст. Поверхность металла под влиянием окружающей среды, содержащихся в пастах активных компонентов и происходящего при полировании нагрева покрывается тонкими окисными и солевыми пленками. Механическое воздействие полировочного инструмента сопровождается разрушением этих пленок, но на обнажившихся участках металла они сразу же вновь образуются. Твердость абразивных частиц при полировании не имеет такого значения, как при шлифовании, так как в первом случае они воздействуют на тонкую пленку, механически значительно менее прочную, чем металл.

Шлифование проводят на станках с помощью абразивных кругов различной жесткости. Твердые круги используют для обдирки отливок, удаления толстого слоя окалины, продуктов коррозии. Эластичные круги, на цилиндрической поверхности которых закреплен абразивный порошок, применяют для сглаживания микрошероховатостей поверхности, выведения мелких рисок, раковин.

Полирование проводят на тех же станках, что и шлифование, используя в качестве инструмента эластичные войлочные или матерчатые круги с нанесенными на их рабочую поверхность полировочными пастами. В состав этих паст входят тонкие абразивные порошки, связывающие компоненты и добавки поверхностно-активных веществ, например серы, олеиновой кислоты, оказывающих активизирующее действие на поверхностный слой металла. Состав паст подбирается с учетом свойств металла, из которого изготовлены обрабатываемые детали, материала круга, на который наносится паста,

и необходимости легкого удаления пасты с поверхности металла при последующем обезжиривании.

Для матирования поверхности деталей, очистки их от небольшого слоя окалины, загрязнений, графа, травильного шлама можно использовать крацевание. Оно проводится с помощью дисковых щеток, набранных из упругой тонкой проволоки. Хороший эффект достигается при крацевании гальванических покрытий, в особенности золота, серебра, цинка, олова. При этом происходит уплотнение осадков, они приобретают некоторый блеск, удаляются дендриты. В случаях, когда не удается осадить компактные покрытия большой толщины (например, при золочении), применяется промежуточное крацевание, которое приводит к сглаживанию грубых неровностей. Крацевание является своеобразным способом проверки прочности сцепления покрытия с основой: если не происходит отслаивания осадка, то можно быть уверенным, что оно не произойдет и в условиях эксплуатации изделия.

Операцию крацевания трудно механизировать и она выполняется на станках вручную, поэтому применять ее следует лишь при невозможности использования других, менее трудоемких операций и только для обработки небольших партий деталей.

Струйную абразивную и гидроабразивную обработку применяют обычно для удаления с поверхности деталей толстого слоя термической окалины, ржавчины, графа. Абразивным материалом служит кварцевый или металлический песок, стальная дробь, корунд, фруктовые косточки. Ударяясь о поверхность металла, частицы абразива сбивают прочно приставшие загрязнения, придавая ей матовость и своеобразный развитый микрорельеф.

Обработка струей сухого абразива допускается только в специальных герметичных установках, предотвращающих попадание абразивной пыли в производственное помещение. Особенно вредным в этом отношении является кварцевый песок, который с успехом можно заменить металлическим песком, дробью или корундом. Эти материалы позволяют достигнуть требуемого качества поверхности и не выделяют при работе мелкой керамической пыли. Более полное устранение вредных выделений при струйной обработке достигается применением суспензий, в которых абразив находится в жидкой среде во взвешенном состоянии. Подбирая абразив определенной твердости и зернистости, состав рабочей жидкости и режим обработки, можно не только очистить поверхность металла от механических и химических загрязнений, но и достигнуть эффективного сглаживания шероховатостей.

Струйная абразивная обработка является лучшей подготовкой поверхности металла под обрешивание. Получаемый при такой обработке развитый микрорельеф способствует прочному сцеплению металла с гальваническими покрытиями. Однако этот способ обработки используется довольно ограниченно. Основной причиной такого положения является необходимость принятия специальных мер по предотвращению выделения абразивной пыли, что требует изготовления или приобретения соответствующего оборудования. Между тем, в ряде случаев технико-экономическая эффективность струйной обработки может быть довольно высокой. Получаемый предприятиями металл в виде листов, прутков, ленты, труб, очень часто имеет заметные дефекты поверхности — глубокие риски, раковины. Для их удаления требуется травление, шлифование,

полирование с несколькими переходами, что, как известно, довольно трудоемко. Струйная абразивная обработка позволяет достигнуть хорошего результата с меньшими затратами труда и времени. Она непригодна в тех случаях, когда требуется получить интенсивный блеск поверхности металла. В других же случаях не следует игнорировать этот способ, который при относительно небольшой затрате труда, одновременно с удалением внешних дефектов поверхности, позволяет получить своеобразную фактуру ее, благоприятно влияющую на декоративный вид и качество покрытий.

В последнее время в оптической и некоторых других отраслях промышленности находят применение процесс сатинирования — обработки деталей стеклянной пульпой (взвесь стеклянного порошка в воде) в специальных автоматических установках, в результате которого получается матовая, бархатистая поверхность. Этот вариант струйной абразивной обработки указывает на возможность ее хорошего аппаратного оформления и успешного применения в гальванотехническом производстве.

Усовершенствование процессов механической обработки поверхности металла перед осаждением гальванических покрытий идет в направлении их интенсификации, снижения трудоемкости, получения новых видов отделки. Для шлифования некоторых деталей электронной аппаратуры, подшипников, часовых механизмов применяется магнитно-гидроабразивный способ, когда детали под действием вращающегося магнитного поля, движутся навстречу гидроабразивной жидкости, непрерывно перемешиваемой многолопастной мешалкой. Для деталей сложного профиля, например, турбинных лопаток, пригодна гидромеханическая обработка, в процессе которой происходит быстрое их перемещение в абразивной пульпе с одновременным поворотом вокруг своей оси. На предприятиях приборостроительной промышленности для декоративной отделки используют алмазное точение и фрезерование. Алмазный инструмент может быть применен для выглаживания покрытий, в процессе которого происходит уплотнение осадка, уменьшение его пористости и шероховатости поверхности, а в некоторых случаях и улучшение прочностных характеристик деталей. Для получения декоративного рисунка на поверхности металла, а также для повышения износостойкости может быть успешно использован метод виброобкатывания с помощью металлического шарика или алмазного наконечника. Такая обработка формирует на поверхности своеобразный рельеф, включающий регулярно расположенные канавки различных размеров и положений, независимо от конфигурации деталей. Ее можно применять как для основного металла, так и для гальванических покрытий. Как показали исследования, виброобкатывание повышает износостойкость серебряных покрытий.

Выбор способа механической обработки деталей перед осаждением покрытий следует делать с учетом всех факторов, касающихся условий их эксплуатации, возможности производства, массовости продукции.

## 2. Шлифование абразивными кругами и лентами

Шлифование ведут с помощью абразивных кругов на одно- или двухшпиндельных станках, оборудованных местной вытяжной вентиляцией. Круг закрепляют на шпинделе станка с помощью конусного

наконечника или фланца с гайками. Применение конусов сокращает время на установку и снятие круга со станка. Наиболее универсальным инструментом являются эластичные круги из войлока, фетра, сукна, кожи, хлопчатобумажных материалов, на рабочую поверхность которых нанесен абразив. Промышленно выпускаются войлочные круги трех типов: грубошерстные, полугрубошерстные и тонкошерстные. Грубошерстные применяют для предварительной чистовой обработки различных деталей, полугрубошерстные и в особенности тонкошерстные — для окончательной отделки поверхности, когда требуется уменьшить шероховатость при сохранении точности размеров. Фетровые круги используют для шлифования мелкозернистыми абразивами и в тех случаях, когда требуется сохранить плоскостность и острые грани деталей.

Чем меньше твердость металла, тем эластичнее должен быть абразивный круг, применяемый для его обработки. Сильно профилированные детали, независимо от твердости материала, рекомендуется обрабатывать мягкими кругами.

Круги из хлопчатобумажной или киперной ткани набирают из отдельных дисков и прошивают спиральным, концентрическим, радиальным или параллельным швами. Чем меньше будет расстояние между швами, тем выше твердость круга. Для мягких кругов оно составляет 15—20 мм, для твердых — 5—10 мм.

Эластичные круги перед нанесением на них абразивного слоя подвергают профилированию, обточке и балансировке. После этого круги высушивают, смазывают рабочую поверхность клеем и накапыванием наносят на нее абразив. Необходимый для закрепления абразивных зерен клеевой слой состоит из столярного клея, казеина или жидкого стекла. Столярный клей, преимущественно мездровый, заливают водой из расчета две части воды на одну часть клея и выдерживают до набухания в течение 10—12 ч. Соотношение количества воды и абразивного порошка зависит от зернистости абразива. Чем больше размер зерна, тем большее количество клея и абразивного порошка необходимо для получения прочного абразивного слоя на круге (табл. 1). Набухший клей нагревают

Таблица 1. Состав клеевой связки абразивом для шлифовальных кругов (массовая доля, %)

Номер зернистости абразива, ГОСТ 3647—80	Клей	Вода
16—12	35—33	65—67
10—8	33—30	67—70
6—5	30—25	70—75
4—3	25—23	75—77

на водяной бане в клееварке при 65—70°C до получения однородной массы. Следует избегать перегрева, чтобы не ухудшить качество клея. В случае надобности, для обеспечения огнестойкости тканевых кругов их пропитывают раствором, содержащим (г/л): сернистого аммония — 38, борной кислоты — 1,2, тетрабората натрия — 3,0, жидкого стекла — 1,25. После удаления избытка раствора пропитанные секции круга сушат в течение 20—24 ч при температуре

40—45°C и склеивает друг с другом старым клеем. Таким путем получают пакет необходимой толщины, из которого затем вырезают круг.

Горячий клей наносят последовательно несколько раз на рабочую поверхность круга с промежуточной сушкой каждого слоя. После получения своеобразного грунта наносят еще один слой клея и накатывают на круг абразивные зерна. Предварительно абразив нагревают до 40—50°C, а круг — до 30—40°C. Направление накатки должно совпадать с направлением ворса круга. В этом же направлении должен вращаться круг при шлифовании. Для увеличения срока службы кругов можно делать двух- и трехслойную накатку с обязательной сушкой каждого слоя. Повышение давления на круг при накатывании на него абразива приводит к более глубокому проникновению зерен в клеевой слой и также благоприятно сказывается на сроке его службы.

Сушка накатанных кругов при 25—30°C и относительной влажности 50% продолжается при однослойной накатке 20—24 ч, при двухслойной накатке — до 48 ч, сушка при 35—40°C продолжается 10—12 и 24 ч соответственно. Помимо указанного способа получения на круге шлифующего слоя путем последовательного нанесения клея и абразивных зерен, такой слой может быть получен за одну операцию, если наносить на круг предварительно приготовленную смесь клея и абразива. Для эластичных кругов берут на 3—4 части абразива 6—7 частей клея. В этом случае качество абразивного слоя в значительной мере будет зависеть от однородности наносимой массы, что трудно достигнуть при ее ручном приготовлении.

Кроме столярного клея, в качестве связующего компонента при нанесении на круг абразива могут быть использованы казеиновый клей и жидкое стекло. Наиболее приемлемым является жидкое стекло плотностью 1,40—1,45, модуль 2,25—2,5. Технология его применения не отличается от применения столярного клея, но продолжительность сушки может быть уменьшена в 1,5—2 раза. Клеевая связка на жидком стекле особенно эффективна при накатке на круг крупнозернистых абразивных материалов.

В некоторых случаях, если поверхность деталей имеет незначительную шероховатость, их шлифование можно проводить войлочными или тканевыми кругами без клевого абразивного слоя. Для такой обработки стальных деталей используют пасту следующего состава (массовая доля, %): шлифпорошок — 60, парафин — 30, олеиновая кислота — 10. Для тонкого шлифования деталей из меди, цинка, алюминия и их сплавов применяют следующую пасту (массовая доля, %): шлифпорошок — 40, стеарин — 60.

При использовании шлифовальных кругов, бывших в употреблении, необходимо предварительно удалить старый слой клея и абразива с помощью шлифовального камня, резца или ножа и лишь после этого наносить новый абразивный слой. Помимо войлочных матерчатых кругов для шлифования можно использовать вулканистые круги, которые изготавливают прессованием резиновой композиции с абразивным наполнителем.

Такие круги отличаются большей долговечностью, прочностью, теплостойкостью, допускают применение при эксплуатации охлаждающих жидкостей, что позволяет интенсифицировать процесс обработки деталей.

Таблица 2. Применение абразива и полировочных паст при шлифовании и полировании деталей

Деталь	Шлифование						Шлифование с засаливанием		Полирование пастами			
	Номер зернистости абразива									крукусной	известковой	хромовой
	40—50	16—25	8—10	5—6	5—6	3—5						
Чугунные отливки и сварные детали	О	П	П	П	П	О	П	П	О			
Стальные детали:												
кованые	Н	П	П	П	П	О	П	П	О			
штампованные	Н	О	П	П	П	О	П	П	О			
точеные	Н	Н	О	О	П	Н	О	П	О			
Детали из нержавеющей стали	Н	Н	П	П	П	П	О	О	О			
Детали сложной конфигурации из латуни, цинка и цинковых сплавов	Н	Н	Н	О	П	О	П	П	О			
Детали простой конфигурации из латуни и цинковых сплавов	Н	Н	Н	О	П	О	П	П	П			
Детали из алюминия и его сплавов	Н	О	О	П	П	О	О	О	О			
Детали из пластмасс	Н	Н	Н	П	О	О	П	О	О			
Примечание: П — применяется; Н — не применяется; О — применяется в отдельных случаях.												

После того как шлифованием сглажены основные микрошероховатости поверхности, перед последующим декоративным полированием часто проводят матирование или так называемую засалку поверхности металла. Для этого круг с мелким абразивом, который использовался на предшествующих переходах шлифования, слегка смазывают парафином, техническим салом или специальными засалочными пастами. Для обработки стальных деталей можно использовать пасту следующего состава (массовая доля, %): маршаллит — 80,8; солидол Т — 9,0; парафин — 10,0; церезин — 0,2; для обработки деталей из меди, алюминия, цинка и их сплавов — пасту состава (массовая доля, %): стеарин — 60, наждачная пыль — 40. Для этой же цели предложена водорастворимая паста, в состав которой входят (массовая доля, %): полиэтиленгликоль ПЭГ-115 — 20—55, препарат ОС-20 — 5—20, стеарин — 40—60.

В табл. 2 приведены примеры применения абразивных порошков и полировочных паст при шлифовании и полировании различных

Таблица 3. Зависимость частоты вращения шлифовальных кругов от их диаметра и материала обрабатываемых деталей

Обрабатываемый металл	Частота вращения, об/мин, в зависимости от диаметра круга, мм				
	200	250	300	350	400
Чугун, сталь, никель, хром	2800	2300	1900	1600	1400
Медь и ее сплавы	2400	1900	1500	1300	1200
Алюминий, олово, цинк и их сплавы	1900	1500	1300	1100	1000

деталей. Режим шлифования определяется материалом обрабатываемых деталей, частотой вращения круга и его давлением на поверхность металла. Наибольшая частота вращения требуется при шлифовании деталей простой формы, изготовленных из твердых металлов и сплавов. При шлифовании грубо обработанных деталей, когда необходимо снять довольно большой слой металла, увеличивают силу прижима их к вращающемуся кругу. В табл. 3 приведены значения частот вращения кругов различного диаметра при шлифовании ряда металлов.

Шлифование эластичными абразивными лентами проводят на специальных станках. Ленту растягивают на роликах, один из которых является ведущим и обеспечивает ее вращение с заданной скоростью. Второй ролик используется в качестве опоры при обработке плоских поверхностей и его покрывают слоем сукна или войлока. Обработку профилированных деталей ведут на свободном участке ленты между роликами.

Шлифование абразивными лентами проводят обычно в два перехода. Для первого используют крупнозернистый, для второго — мелкозернистый абразив. Скорость движения ленты устанавливают с учетом материала и конфигурации деталей. При шлифовании плоских деталей из чугуна, бронзы и стали скорость движения ленты 15—20, цилиндрических — 25—30 м/с. Обработку легких металлов ведут при скорости движения ленты — 30—50, титана — 12—15, твердых сплавов — 15—18 м/с.

На ленты, так же как на круги, можно наносить шлифовочные пасты. Для сглаживания шероховатостей применяется паста следующего состава (массовая доля, %): микropорошок М40 или М5 — 72, стеарин — 11, парафин — 12, технический вазелин — 5.

### 3. Шлифование в барабанных и вибрационных установках

Для шлифования применяют граненые герметичные или перфорированные контейнеры барабанного типа. В герметичных установках не происходит потерь абразива и поэтому могут использоваться шлифпорошки различной зернистости. При работе таких установок с применением жидкой среды ее требуется часто менять ввиду накопления продуктов износа деталей и абразива. Этого недостатка лишены перфорированные контейнеры, которые погружают в ванну с жидкой средой. Благодаря перфорации обеспечивается непрерывное удаление продуктов абразивного износа и обновление раствора в рабочей зоне. Перфорированные барабаны находят

большое применение для чистового шлифования и полирования, герметичные — для грубой обработки (снятия грата, окислы, облой).

Качество обработки поверхности деталей зависит от количества и зернистости шлифующих материалов и их давления на детали. Поэтому при одинаковой загрузке, чем больше диаметр барабана и меньше его длина, тем выше масса абразивного материала, воздействующая на детали, и тем интенсивнее идет обработка. Для барабанов длиной 400—1000 мм их диаметр принимают вдвое меньше, длиной 900—1200 мм — в 1,5 раза меньше длины. Обработку без жидкой среды, когда требуется значительный съем металла, можно вести в барабане, диаметр которого лишь несколько меньше или почти равен его длине.

В качестве шлифующего материала в барабанах используют бой абразивных кругов, мелкие камни, куски гранита, фарфора, шлифовальные порошки. Бой абразивных кругов предварительно обкатывают в барабане в течение 8—10 ч для округления острых граней. Для интенсификации процесса шлифования и уменьшения шероховатости следует в барабан одновременно загружать различные абразивные материалы, отличающиеся как по твердости, так и по размеру. Для шлифования черных металлов рекомендуется применять бой электрокорундовых кругов, крупный кварцевый песок, шлифовальные порошки. Для обработки цветных металлов можно использовать куски гранита, мрамора, фарфора, мелкозернистые шлифовальные порошки. Алюминиевые детали предпочтительно обрабатывать смесью кварцевого песка и трехзамещенного фосфорнокислого натрия с добавкой небольшого количества воды.

При шлифовании в барабанных установках с жидкой средой используют растворы следующих составов (массовая доля, %): для меди и ее сплавов — кальцинированная сода — 0,5—1,0, тринатрийфосфат — 0,5—1,0; для алюминия и его сплавов — тринатрийфосфат — 0,6—0,8; для углеродистых сталей — тринатрийфосфат — 0,7—0,8 и азотнокислый натрий — 0,2—0,3, кальцинированная сода — 1—2 и канифоль — 0,4—0,5, едкий натр — 2—3; для нержавеющей стали — кальцинированная сода — 0,8—1,0, азотнокислый натрий — 0,2—0,3, гашеная известь — 0,1—0,2, тринатрийфосфат — 0,7—0,8, нитрат натрия 0,2—0,3. Толстый слой окислы на стальных деталях удаляют с помощью раствора (массовая доля, %): соляная или серная кислота — 5, столярный клей — 1, ингибитор кислотной коррозии ПБ-8 — 0,5—1. Для чистового шлифования латуни рекомендуется 1 %-ный раствор олеиновой или стеариновой кислоты в скипидаре.

В герметичных барабанных установках рабочий раствор заменяют после обработки каждой партии деталей, в перфорированных — после обработки нескольких партий, примерно через 20—30 ч. При обработке деталей в жидкой среде увеличение объема раствора приводит к смягчению режущего действия абразива, поэтому при грубой обработке уровень раствора в ванне поддерживают на 50—80 мм ниже уровня загрузки деталей в барабане, а при чистовой обработке — на 20—40 мм выше уровня загрузки.

Барабанный контейнер загружают на 50—80% его объема, причем соотношением объемов, занимаемых деталями и абразивом, составляет 1:4—1:8 соответственно. Частота вращения барабана при грубой обработке составляет 30—40 об/мин, а при шлифовании тонкостенных деталей — 8—10 об/мин. Частоту вращения больших

барabanов принимают на 30—40% меньше, чем барабанов малого диаметра, а перфорированных барабанов — на 20—40% выше, чем герметичных. Продолжительность обработки деталей зависит от исходного состояния их поверхности и применяемых абразивных материалов. Мелкие штампованные детали шлифуют в течение 4—10, поковки — 40—60 ч.

Вибрационное шлифование проводят на специальных установках, обеспечивающих вибрацию контейнера с деталями частотой 1500—3000 колебаний в минуту и амплитудой 1—5 мм. При чистовой обработке применяют большую амплитуду колебаний, чем при черновом шлифовании. Контейнер загружается деталями и шлифующим материалом примерно на 3/4 объема. При обработке деталей, имеющих толстые стенки или изготовленных из твердых металлов, соотношение их и шлифующего материала принимают 1:1, при обработке тонкостенных деталей соотношение уменьшают до 1:2. В качестве шлифующего материала можно использовать бой абразивных кругов, отходы фарфорового производства, абразивные смеси, небольшие куски металла, плодовые косточки. Для виброшлифования деталей из цветных металлов применяют абразив меньшей зернистости, чем для черных металлов. Крупные куски абразива или фарфора, используемые при чистовой обработке деталей, предварительно обкатывают в барабане для округления острых кромок.

Вибрационное шлифование можно проводить сухим способом или с применением жидкой среды. При сухом способе накапливающаяся в контейнере абразивную пыль необходимо периодически удалять механически или продувкой сжатым воздухом. Обработка в жидкой среде облегчает удаление продуктов абразивного износа и уменьшает продолжительность шлифования. В этом случае частота колебаний контейнера должна быть выше, чем при сухом виброшлифовании. Смазывающую жидкость подают в контейнер периодически или непрерывно. В последнем случае обеспечивается более высокое качество и интенсивность обработки деталей. Такими жидкостями при обработке стальных деталей являются 2—5%-ный раствор кальцинированной соды, а также смесь следующего состава (г/л): мыло — 15, кальцинированная сода — 5, олеиновая кислота — 5. Протекающий через контейнер раствор отстаивают и после отделения отходов абразивного износа возвращают в рабочую зону.

Для того чтобы достигнуть требуемых параметров шероховатости поверхности, обработку деталей в виброконтейнере ведут в несколько переходов. Например, для стальных деталей принята следующая последовательность:

снятие грата — рабочая среда — абразивная смесь и 1,5%-ный раствор кальцинированной соды; отношение объемов деталей и абразива 1:1; продолжительность обработки 2—2,5 ч;

выведение грубых рисок — рабочая среда та же, отношение объема деталей и абразива 1:2; продолжительность обработки 4—5 ч;

уменьшение шероховатости поверхности — рабочая среда — фарфоровый бой и раствор, содержащий (г/л): мыло — 15, кальцинированная сода — 5, олеиновая кислота — 5; отношение объемов деталей и абразива 1:2; продолжительность обработки 2—2,5 ч;

дальнейшая обработка поверхности — рабочая среда — куски войлока, шаржированные окисью хрома, крокус, керосин; отношение объемов деталей и рабочей среды 1:4; продолжительность обра-

ботки 3—4 ч. Все этапы обработки проводятся при частоте колебаний контейнера 2000 в минуту и амплитуде 1,5—2 мм. В результате такой обработки улучшаются параметры шероховатости поверхности деталей (значение  $Ra$  уменьшается с 3,2—1,6 до 0,8—0,4).

#### 4. Полирование кругами и лентами с полировочными пастами

Для полирования используется такое же станочное оборудование, как и для шлифования абразивными кругами. Полировочные круги должны быть эластичными, хорошо удерживать на поверхности пасту и быть стойкими против механического износа. Изготавливают их из войлока, фетра или набирают из кусков ткани. Матерчатые круги могут быть прошитыми и непрошитыми. Непрошитые круги набирают в виде пакета дисков из сукна, фланели, полотна, бязи и закрепляют на станке. Такие круги из мягких тканей используют для декоративной отделки, когда требуется достигнуть высокого блеска поверхности деталей.

Для полирования сравнительно твердых материалов: стали, никелевых и хромовых покрытий применяют прошитые секционные круги, которые при монтаже на станке зажимают между металлических или деревянными оправками. Чем меньше расстояние между строчками прошивки, тем жестче круг. Полировочные пасты лучше удерживаются на поверхности кругов, изготовленных с помощью радиальной прошивки.

Хорошее качество обработки поверхности достигается при использовании кругов из свитых полос ткани. Для их изготовления куски ткани, размером не более половины диаметра круга, свертывают спиралью. Набор таких секций закрепляют на станке между двумя фланцами. Полученный круг с волнистой рабочей поверхностью хорошо вентилируется и выдерживает большие нагрузки при работе. Круги из свитых полос ткани хорошо удерживают полировочные пасты и не оставляют следов ворса на обрабатываемой поверхности.

Для полирования черных металлов целесообразно использовать круги из полотна или миткаля, для цветных металлов и их сплавов — из бязи или сукна.

Полировочные пасты состоят из абразивного порошка, жировой связки и специальных добавок, активирующих процесс полирования. Паста должна быть вязкой, эластичной, легко смазывать поверхность круга и удерживаться на ней, не засаливать поверхность металла и давать хорошее качество отделки. Обычно пасты содержат 60—70% абразива и 30—40% связки. Количество активирующих добавок не превышает 2%. Абразивным материалом служат окиси металлов: хрома, железа (крокус), алюминия (глинозем), кремния, а также венская известь — окись кальция с небольшой примесью окиси магния. Наиболее универсальным действием характеризуется окись хрома, которую можно применять для декоративной отделки большинства металлов и сплавов. Связующими веществами в пастах являются парафин, стеарин, церезин, техническое сало, активирующими добавками — сера, олеиновая кислота. Вязкость пасты можно уменьшить, вводя в нее скипидар или керосин.

Для предварительного полирования берут более крупнозернистые фракции абразива от М63 до М40, для дальнейшей обработки



Таблица 4. Составы паст для полирования металлов и сплавов (массовая доля, %)

Компонент пасты	Номер пасты								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Окись железа	73	77	37	—	—	—	36	49	80
» хрома	—	—	36	80	60	—	—	—	—
» алюминия	—	—	—	—	—	65	36	—	—
Стеарин	18	19	—	17	30	10	8	18	10
Парафин	6	—	27	—	—	—	—	8	—
Церезин	2	3	—	—	—	15	13	—	—
Воск	—	—	—	—	—	8	—	—	—
Скипидар	—	—	—	—	—	2	—	—	—
Олеиновая кислота	1	—	—	1	10	—	3	25	2
Солидол	—	1	—	2	—	—	—	—	—
Технический жир	—	—	—	—	—	—	4	—	8

используют последовательно более мелкозернистые фракции от М28 до М3.

Черные и цветные металлы можно полировать крокусной пастой. Окись алюминия используется в пастах для отделки меди, никеля, цинка и их сплавов. Венскую известь как наиболее мягкий абразивный материал применяют для глянцеваания покрытий. Она пригодна также для полирования алюминия, в особенности перед его декоративным анодированием. Крокусные или хромовые пасты адсорбируются на поверхности алюминия, что приводит к появлению пятен, которые выявляются при его последующем анодировании.

Для приготовления полировочной пасты на закрытом огне сначала расплавляют в металлической посуде жир, вводят специальные добавки и затем при непрерывном помешивании всыпают абразив. После получения однородной массы ее отливают в металлические или бумажные формы и охлаждают.

В табл. 4 приведены составы некоторых полировочных паст, применяемых в промышленности. Пасты № 1—3, 9 используются при отделке стали, никеля, меди и ее сплавов; № 4, 5 — меди, никеля, хрома, нержавеющей стали; № 6, 8 — меди, цинка и сплавов этих металлов; № 7 — меди, цинка, алюминия и их сплавов; № 6 — серебра.

Для полирования деталей из цинкового сплава типа ЦАМ используется паста, содержащая (массовая доля, %): окись железа — 80, стеарин — 10, олеиновую кислоту — 2, техническое сало — 8. Паста для полирования медных, никелевых и хромовых покрытий содержит (массовая доля, %): окись хрома — 60, стеарин — 30, олеиновую кислоту — 10. Хромовые покрытия могут быть отполированы также пастой, содержащей 72—75% окиси алюминия, 28—25% стеарина и технического жира.

Заменив жиры и консистентные смазки водными эмульсиями, можно получить жидкие пасты, применение которых предотвращает перегрев материала круга и обрабатываемых деталей, способствует повышению качества отделки поверхности металла. Жидкая паста для полирования латуни содержит (массовая доля, %): микрор порошок М7 или М10 — 41, стеариновую кислоту — 10, триэтанол-

Таблица 5. Состав водорастворимых полировочных паст (массовая доля, %)

Компонент пасты	Номер пасты							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Окись хрома	29,5	59	—	—	15	—	65	70
Микрор порошок М10 или М20	29,5	—	58,0	40	—	—	—	—
Микрор порошок КО-7	—	—	—	—	20	70	—	—
Хозяйственное мыло (60%-ное)	16,0	16	17,5	15	10	—	—	—
Глицерин дистиллированный	5,0	5	5,0	15	20	—	—	—
Смазка УН	4,0	4	—	3	3	—	—	—
Препарат ОП-7	1,0	1	—	1	1	—	—	—
Сульфенол	—	—	0,5	—	—	—	—	—
Синтаиол ДС-10	—	—	0,5	—	—	—	—	—
Мочевина	1,0	1	1,0	1	1	—	—	—
Полнэтлленгликоль ПЭГ-115	—	—	—	—	—	9	8	—
Моноэтилаамид	—	—	—	—	—	15	18	21
Препарат ОС-20	—	—	—	—	—	6	9	9
Вода	14,0	14	17,5	25	30	—	—	—

ламин — 3, воду — 46. Медные покрытия полируют пастой следующего состава (массовая доля, %): окись алюминия — 42, стеариновая кислота — 7, олеиновая кислота — 2, триэтанолламин — 2, олеиновая кислота — 1, вода — 46.

Хорошими полирующими свойствами характеризуются пасты ГОИ на основе окиси хрома. Возможность обработки различных металлов и уменьшения шероховатости поверхности сделали их весьма универсальными. В состав паст, помимо окиси хрома, входят парафин, стеарин, олеиновая кислота, гидролизированный жир. В зависимости от соотношения компонентов получают пасты для чистой и более грубой обработки. Присутствие поверхностно-активных веществ способствует ускорению и повышению качества полирования.

Заменив окись хрома микрор порошком, а стеарин — синтетическими жирными кислотами, можно приготовить пасты, обладающие хорошими полирующими свойствами, которые благодаря омыляемости основного жирового компонента довольно легко удаляются с поверхности металла при обезжиривании в щелочных растворах. Такого типа паста для полирования меди, цинка, алюминия содержит (массовая доля, %): микрор порошок М10 или М14 — 50, стеариновая кислота — 18, моющая паста, выпускаемая промышленностью для хозяйственных нужд, например типа «Нежность» — 12, парафин — 10, окись алюминия — 6, церезин — 4.

Весьма перспективным можно считать применение для тонкого шлифования и полирования водорастворимых паст. Наряду с абразивом они содержат значительное количество мыла и глицерина, что облегчает удаление следов пасты с поверхности металла без применения органических растворителей. Это обстоятельство имеет большое значение в условиях производства, так как позволяет уменьшить расход огнеопасных и токсичных материалов.

В табл. 5 приведены составы некоторых паст, применяемых в промышленности. Пасты № 1—3, 7, 8 рекомендуются для чистового

БНТ  
УМТ

Таблица 6. Режимы полирования эластичными кругами

Материал	Окружная скорость, м/с	Давление на обрабатываемую поверхность, МПа
Чугун, сталь, никель, хром	30—35	0,1—0,2
Медь и ее сплавы	22—30	0,03—0,08
Алюминий и его сплавы, цинк олово	18—22	0,01—0,04
Пластмассы	12—15	0,01—0,02

шлифования и полирования черных и цветных металлов; № 4, 5 — преимущественно для цветных металлов, № 6 — для алюминия. Данные пасты размягчаются и в значительной мере удаляются с поверхности деталей при выдержке их в горячей воде или 5%-ном растворе кальцинированной соды. Для полного удаления пасты целесообразнее использовать раствор, содержащий 50 г/л метасиликата натрия и по 20 г/л едкого натра, кальцинированной соды и тринатрийфосфата при температуре 70—80°C.

Для приготовления паст № 1—5 необходимое количество воды нагревают до кипения, добавляя в нее последовательно глицерин, измельченное мыло и мочевины. После того как мыло полностью расплавится, при помешивании вводят окись хрома, микропорошок и препарат ОП-7. Массу кипятят до достижения необходимой вязкости, которую качественно можно проверить по стеканию массы с мешалки (готовая паста в нагретом состоянии должна лишь капать, а не стекать с нее). Указанные пасты имеют твердость хозяйственного мыла, плавятся при температуре около 100°C.

Пасты № 6—8 приготавливают, расплавляя при температуре 85—95°C полиэтиленгликоль и вводя в него моноэтаноламид и затем препарат ОС-20. После достижения однородности расплава, при непрерывном перемешивании, в него добавляют микропорошок или окись хрома.

Приготовленные пасты отливают в стальные формы, предварительно смазанные тонким слоем вазелина, и охлаждают, выдерживая при комнатной температуре в течение 24—48 ч.

Интенсификации процесса отделки поверхности металлов можно достигнуть с помощью паст, содержащих в качестве абразивной составляющей микропорошки синтетических материалов. Количество такого микропорошка в пасте составляет 2—8%, иногда добавляется окись алюминия. Органическая связка и активирующие компоненты (стеарин, олеиновая кислота, жиры) вводятся в количестве 80—95%.

Для полирования деталей из пластмасс применяют пасту следующего состава (массовая доля, %): молотый кирпич — 64, стеарин — 14, парафин — 14, жирорастворимый нигрозин — 2, этиловый спирт — 6. Используемый для приготовления пасты кирпич должен быть предварительно тщательно промолот и просеян через мелкое сито.

Процесс полирования осуществляется в несколько переходов. Предварительной обработкой удаляют следы, оставшиеся от предыдущей операции механического шлифования. Для этого используют жирные пасты с относительно более грубым абразивом. Обработку ведут жесткими матерчатыми кругами при повышенной частоте вращения. Чистовым полированием или гляцеванием мягкими кругами при небольшой частоте вращения и сухими пастами с тонкими абразивами добиваются получения высокого блеска поверхности металла.

Обработку деталей следует начинать с боковых поверхностей от середины к краям и затем от краев к середине. Сначала полируют под некоторым углом, а затем в продольном направлении. При смазывании полировочного круга пастой следует избегать ее избытка, так как это приводит к засаливанию поверхности деталей. С другой стороны, недостаточное количество пасты на круге ухудшает качество полирования. Правильное нанесение пасты на полировальный круг, так же как оптимальное усилие прижима

поверхности обрабатываемой детали к кругу, существенно сказывается на качестве полирования.

При полировании мягких или вязких материалов, например алюминия, нержавеющей стали, следует избегать сильного давления круга на деталь, так как это приведет к местному перегреву металла, что будет способствовать его окислению, внедрению пасты в металл, образованию пятен, прижогов. При анодировании алюминия, предварительно полированного хромовой пастой, отражательная способность его поверхности значительно понижается, выявляются матовые пятна. Для предотвращения таких явлений следует снизить давление при полировании, уменьшить частоту вращения круга, применять влажное полирование. Для влажного полирования алюминия используют водную кашицу, состоящую из магнезии, окиси алюминия и небольшого количества мыла. С этой же целью можно использовать смесь, содержащую 250—300 г/л окиси алюминия и 15—25 г/л мыла. Хороших результатов можно достигнуть, если перед гляцеванием алюминия слегка протравить его в растворе щелочи.

Режим полирования эластичными кругами с пастами определяется, прежде всего, твердостью обрабатываемого металла. Чем выше его твердость, тем больше должны быть частота вращения круга и его давление на обрабатываемую поверхность. Примерные значения этих параметров приведены в табл. 6.

Расход материалов при полировании 1 м<sup>2</sup> поверхности деталей составляет примерно 0,02—0,3 войлочных кругов или 1,2—1,4 м<sup>2</sup> бязи, 100—120 г пасты типа ГОИ.

Для декоративной отделки золотых и серебряных покрытий полировочные круги и обычные пасты не пригодны, так как их использование ведет к потерям драгоценных металлов. В этом случае пользуются специальными полировальниками из агата, кровавика или твердых сплавов. Рабочая поверхность полировальника должна быть очень гладкой. Полирование обычно ведут вручную, равномерно нажимая на инструмент и возвратно-поступательными движениями проходя всю поверхность, подлежащую обработке. При этом происходит сглаживание микрощероховатостей, уплотнение покрытия, которое приобретает блеск. При работе полировальник периодически смачивают мыльной водой, которая играет роль смазки. Для поддержания инструмента в рабочем состоянии его полируют вручную на коже с хромовой или крокусной пастой. Применение указанного способа отделки позволяет придать поверхности деталей красивый декоративный вид и практически исключить потери драгоценных металлов.

Таблица 7. Составы растворов для полирования в барабанных установках, г/л

Компонент раствора	Номер раствора						
	1	2	3	4	5	6	7
Метасиликат натрия	8	—	—	—	—	—	—
Тринатрийфосфат (кристаллогидрат)	3	—	—	—	—	—	30
Кальцинированная сода	—	2	2	10	—	—	—
Известь гашеная	—	2	—	2	—	—	—
Натрий азотистокислый	—	—	2	2	—	—	—
Хромовый ангидрид	—	—	—	—	10	10	—
Хлористый натрий	—	—	—	—	5	—	—
Серная кислота	—	—	—	—	—	5	—

При полировании деталей сложного профиля, так же как при шлифовании, могут быть использованы эластичные ленты в виде полос или жгутов. На их рабочую поверхность наносят пасты, применяемые для полирования кругами. Можно использовать для этой цели пасту, содержащую (массовая доля, %): шлифпорошок М40 — 72, парафин — 12, стеарин — 11, технический вазелин — 5. Натяжение ленты составляет 0,2—0,4 МПа, скорость движения — 15—30 м/с.

### 5. Полирование в барабанных и вибрационных установках

Чистовая обработка в барабанных установках используется как для подготовки деталей перед нанесением на них покрытий, так и для отделки поверхности тех деталей, на которые покрытия не наносят. Последнее относится, главным образом, к деталям из нержавеющей стали, алюминия и его сплавов.

Полирование в барабанных установках без жидкой среды применяют для мягких металлов и деталей из пластмасс, когда требуется лишь гляцевание поверхности. Полирующим материалом в этом случае являются куски кожи, замши, фетра, сухие опилки твердых несмолистых пород дерева (дуб, ясень, граб). Контейнер загружают на 40—80% объема деталями. Соотношение объема обрабатываемых деталей и наполнителя составляет при использовании опилок — 1:2—1:6, кожи — 1:30—1:50. Частота вращения контейнера с деталями 30—45 об/мин.

Наиболее широко применяется полирование в барабанных установках с жидкой средой, так называемое подводное полирование. В качестве рабочей среды чаще всего используют 0,2—0,7%-ный раствор хозяйственного мыла. Правильно приготовленный мыльный раствор при работе образует белую пену, состоящую из большого количества мелких пузырьков (если пузырьки больше — это указывает на недостаток мыла в растворе). Предварительное обезжиривание является обязательной операцией, необходимой для обеспечения хорошего качества полирования. Появление в пене темных или жировых пятен говорит о том, что детали перед обработкой не были достаточно хорошо обезжирены. При обработке деталей из черных металлов мыльный раствор можно нагревать до 40—50°C, что интенсифицирует процесс полирования. Срок службы раствора не более 24 ч, после чего его необходимо полностью сменить. Благоприятное влияние на качество полирования оказывает добавка в раствор поверхностно-активных веществ (ПАВ). Для черных металлов такими веществами могут быть контакт Петрова, препараты НП-2 или НП-3.

Помимо мыльного, в качестве жидкой полирующей среды используют растворы, состав которых приведен в табл. 7. Составы 1—3 предпочтительны для обработки углеродистой стали, 4 — нержавеющей стали, 5 — меди и ее сплавов, 6, 7 — алюминия, цинка и их сплавов.

Если в барабанный контейнер вместе с абразивным материалом загрузить гашеную известь (500—600 г/л), то одновременно с полированием можно проводить обезжиривание алюминиевых деталей. Хороший эффект дает обработка алюминиевых деталей в эмульсии, содержащей 30 г/л хозяйственного мыла и 3 мл/л бензина при  $pH = 7 \div 8$ .

Для получения хорошего блеска поверхности стальных деталей используют слабощелочной раствор в виброконтейнере; абразивом служат стальные полированные шарики, диаметром 9—18 мм. Частота колебаний контейнера 2000 в минуту, амплитуда 1,5—2 мм. Для виброабразивного полирования дейзильбера и мельхиора предложен раствор<sup>1</sup>, (г/л): едкое кали — 2,5—3, глицерин — 8,5—9,0, железосинеродистый калий — 1—1,5, карбоксиметилцеллюлоза — 0,8—1,0. Обработку ведут в среде шариков, диаметром 5—7 мм из стали ШХ15 при частоте 2500 колебаний контейнера в минуту и амплитуде 1,8—2 мм.

На интенсификацию процесса сглаживания поверхности направлены новые варианты обработки деталей в барабанных установках: гальваноабразивный и магнитно-гидроабразивный способы. В первом случае механическое воздействие загрузки в барабан дополняется электрохимической реакцией в результате действия гальванических пар, возникающих при контакте обрабатываемых деталей с частицами другого металла, играющего роль абразива. Так, обработка стальных деталей в контакте с медной дробью в 10%-ном растворе однозамещенного фосфорнокислого натрия по сравнению с обычной абразивной обработкой в барабане ускорила процесс в два-три раза. Магнитно-гидроабразивная обработка сокращает продолжительность процесса и позволяет уменьшить шероховатость поверхности деталей — значения  $Ra$  понижаются от 6,3—3,2 до 0,4—0,2.

### 6. Крацевание

Процесс крацевания заключается в обработке поверхности изделий вращающимися дисковыми щетками из металлической проволоки или других материалов с целью очистки от окислов и прочно приставших загрязнений, матирования, а при обработке гальванических покрытий — уплотнения их, удаления дендритов, декоративной отделки. Для грубой очистки поверхности черных металлов используют щетки из высокоуглеродистой стали, а для тонкой — из низкоуглеродистой стали диаметром 0,05—0,4 мм. Чем больше диаметр проволоки и меньше ее длина, тем сильнее она воздействует на поверхность металла. Щетки из толстой проволоки используют для удаления прочно приставших загрязнений, а из

<sup>1</sup> А. с. 565051 (СССР)

тонкой — для сглаживания шероховатостей и декоративной отделки. Щетки из согнутой проволоки отличаются большей упругостью и более длительным сроком службы, чем из прямой проволоки.

Частоту вращения дисковых щеток выбирают с учетом их диаметра:

Диаметр щетки, мм . . .	130—150	250—270	400—450
Частота вращения, об/мин	2500—2800	1800—2100	1200—1500

Детали сложной конфигурации следует обрабатывать при большей частоте вращения и использовать щетки с относительно большой длиной проволоки. Скорость очистки стальными щетками поверхности шириной 35—40 мм составляет около 1—1,5 м/мин.

При крацевании с целью сглаживания шероховатостей или отделки поверхности щетка должна касаться обрабатываемого изделия лишь концами проволоки, что прежде всего относится к изделиям, изготовленным из мягких металлов и сплавов, и к гальваническим покрытиям. Увеличение давления щетки на изделие сопровождается большим съемом металла, и на обрабатываемой поверхности остаются следы в виде мелких рисок. Такой режим обработки целесообразно применять при грубом, черновом крацевании, когда удаляют прочно приставшие термическую окалину или продукты коррозии. При декоративной отделке и обработке гальванических покрытий, когда необходимо уменьшить съем металла, в рабочую зону подают тонкой струей или каплями охлаждающую или смазывающую жидкость. При обработке черных металлов для этой цели используют охлаждающую эмульсию или слабый мыльный раствор с добавкой поверхностно-активных веществ, например синтанола. Цветные металлы и гальванические покрытия обрабатывают с применением 0,5%-ного мыльного раствора или 3%-ного раствора углекислого калия. Смачивание щеток и обрабатываемых изделий при крацевании способствует уменьшению съема металла и возникновению блеска поверхности.

Расход стальных крацевочных щеток на обработку 100 м<sup>2</sup> поверхности металла составляет 2—20 шт., капроновых щеток для матирования — 1—8 шт.

Для очистки поверхности изделий от особенно прочно приставших загрязнений и окалины можно использовать иглофрезы — щетки, изготовленные из высокопрочной стальной проволоки с самозатачивающимися режущими кромокками. Они работают при малых частотах вращения (до 1,5 об/с) и значительном давлении на обрабатываемую поверхность. Съем металла составляет 0,01—0,15 мм. Одной щеткой можно обработать до 2000—3000 м<sup>2</sup> поверхности деталей. Примененные иглофрезы по сравнению с обычными крацевочными щетками значительно повышает скорость очистки и более экономично, чем гидроабразивная обработка.

Для крацевания мягких металлов, например меди, серебра, золота, олова используют латунные, волосные, травяные или капроновые щетки. При работе всухую они придают матовость поверхности изделия, а смачивание способствует появлению блеска. Частота вращения таких щеток обычно 30—40 м/с. Крацевание приводит к уплотнению серебряных и золотых покрытий и почти не сопровождается потерями драгоценных металлов.

## 7. Струйная абразивная и гидроабразивная обработка

Очистка поверхности деталей струей измельченного сухого абразива, стальной или чугунной дробью или жидкостной абразивной суспензией основана на том, что частицы, обладающие большей твердостью, чем обрабатываемый металл, ударяясь под давлением об очищаемую поверхность, сбивают находящиеся на ней загрязнения, окалину, образуя своеобразный микрорельеф, состоящий из небольших лунок. Эффективность такой обработки зависит от твердости обрабатываемого металла, характера загрязнений и условий ее выполнения: размера и твердости абразивных частиц, скорости и угла наклона подаваемой струи, диаметра сопла, через который она выходит, расстояния от сопла до поверхности деталей. Чем больше давление подающей абразивную струю воздуха, меньше диаметр сопла и больше угол его наклона к обрабатываемой поверхности, тем интенсивнее идет обработка.

Струйной абразивной обработкой можно подвергать детали, изготовленные из достаточно твердых материалов, но не следует обрабатывать детали из сравнительно мягких материалов, например из алюминия и его сплавов, так как это может привести к их деформации. Сильное механическое действие абразивной струи необходимо учитывать также при обработке тонкостенных деталей. При обработке деталей из цветных металлов и нержавеющей стали не рекомендуется применять твердые абразивные материалы, так как они могут частично вдавливаясь в металл, ухудшая состояние его поверхности.

Хотя струйной абразивной обработкой можно достаточно эффективно очищать поверхность деталей от загрязнений, не следует злоупотреблять этим и во всех случаях отказываться от предварительного обезжиривания. Если слой жировых загрязнений невелик, то он удаляется достаточно легко. Однако если эти загрязнения вязкие и покрывают поверхность металла толстым слоем, то абразивные частицы, попадая на него, склеиваются, их ударное действие ослабляется, они становятся непригодными для повторного использования.

Струйная абразивная обработка может проводиться только при использовании для нее специального герметичного оборудования, не допускающего проникновения образующейся при работе абразивной пыли в помещение, где находится исполнитель. В первую очередь это относится к работе с кварцевым песком, продукты износа которого особенно вредны для здоровья. Поэтому в настоящее время его заменяют шлифовальными порошками различной зернистости, металлическим песком, стальной или чугунной дробью, не образующими вредной абразивной пыли. Успешно используется также гидроабразивная обработка, при которой абразив находится во взвешенном состоянии в жидкой среде, что предотвращает попадание вредных выделений в рабочее помещение.

Сжатый воздух, используемый для подачи абразивного порошка на детали, предварительно очищают от влаги и масла. Обрабатываемая сухим абразивом поверхность металла очень восприимчива к воздействию окружающей атмосферы, поэтому для предотвращения коррозии перерыв между операциями очистки и нанесения на детали покрытий должен быть минимальным. При длительном межоперационном хранении детали следует пассивировать или покрывать консервационными составами.

Таблица 8. Условия струйной абразивной обработки

Толщина стенки детали, мм	Абразив	Размер зерна абразива, мм	Давление воздуха, МПа
До 1 > 3 Свыше 3	Кварцевый песок	0,5—2,0 1,5—2,0 2,0—2,5	0,1—0,2 0,3—0,5 0,4—0,6
До 1 > 2,5 > 5,0 Свыше 5,0	Металлический песок	0,15—0,30 0,30—0,50 0,50—0,80 0,80—1,00	0,2—0,5 0,4—0,5 0,4—0,6 0,4—0,6
До 1 > 3 Свыше 3	Абразивный порошок*	14, 16	0,10—0,15 0,15—0,25 0,30—0,40

\* Для абразивного порошка приведены номера зернистости.

При использовании для струйной обработки абразивных материалов одинаковой зернистости наибольший съем металла дает карбид кремния, несколько меньше — электрокорунд и еще меньше — кварцевый песок. Последний материал доступен, дешев, но быстро изнашивается и поэтому требует частой замены. Металлический песок с размером зерен 0,2—0,8 мм в отличие от кварцевого почти не образует абразивной пыли и расход его значительно меньше. Перед употреблением металлический песок рекомендуется обкатать в течение 4—6 ч в барабанной установке для округления острых кромок его частиц.

Зернистость абразива оказывает большое влияние на скорость очистки и шероховатость поверхности деталей. Чем больше размер зерен, тем выше производительность процесса, но одновременно тем значительней получается шероховатость поверхности. Поэтому в случаях, когда требуется провести грубую очистку или ускорить процесс, применяют крупнозернистый абразив; если же основное внимание уделяется уменьшению шероховатости поверхности, то используют более мелкие его фракции. Последовательное применение абразивов крупной и мелкой зернистости позволяет сочетать экономическую эффективность процесса с достижением поставленных технических целей.

Условия струйной обработки абразивным порошком, кварцевым и металлическим песком зависят от их зернистости и толщины стенок обрабатываемых деталей (табл. 8).

Для очистки поверхности проката, литых и штампованных деталей из черных металлов успешно применяются дробеструйная и дробеметная обработки с использованием чугунной и стальной дроби размером 0,1—2 мм. В отличие от дробеструйной обработки, которая по аппаратному оформлению близка к пескоструйной, дробеметная обработка выполняется специальным аппаратом, механически выбрасывающим дробь с большой скоростью — до 70—80 м/с. При этом дробь оказывает не только скалывающее,

но и абразивное действие на металл, что ускоряет процесс очистки. Дробеметная очистка примерно в десять раз производительнее дробеструйной и сопровождается меньшим расходом энергии [10]. Этот способ нельзя использовать для обработки сильно профилированных деталей.

Эффективность струйной очистки может быть повышена, если вместо сухого абразива применять суспензию, т. е. взвесь абразива в жидкой среде. При этом исключается возможность выделения в атмосферу абразивной пыли, помимо механического воздействия абразива происходит химическое взаимодействие компонентов раствора с металлом. В состав жидкой рабочей среды вводят реактивы, замедляющие коррозию металла, способствующие повышению качества поверхности, а в некоторых случаях и интенсифицирующие процесс съема металла.

Суспензия охлаждает обрабатываемую деталь, смывает с ее поверхности частицы металла и абразива, частично удаляет жировые и другие загрязнения. Все это также способствует повышению качества очистки.

Ингибиторами, т. е. веществами, предотвращающими коррозию, которые вводят в состав суспензии, для черных металлов являются нитрит натрия, кальцинированная сода, триэтанолламин; для медных сплавов — калиевый хромпик, моноэтанолламин.

С увеличением концентрации абразива в рабочей жидкости возрастает производительность гидроабразивной обработки. Наибольший съем металла дают суспензии, содержащие около 50% абразива.

Для гидроабразивной обработки деталей из черных и некоторых цветных металлов может использоваться суспензия следующего состава (г/л): песок кварцевый или шлифовальный порошок электрокорунда — 380—420, нитрит натрия — 18—20, кальцинированная сода — 4—6. Размер зерен кварцевого песка 0,15—0,50 мм, электрокорунда — 0,08—0,12 мм. Для увеличения съема металла вводят поверхностно-активные вещества, например мылонафт, сульфитный шлок в количестве до 1%.

Давление сжатого воздуха при подаче абразивной суспензии, так же как при сухой абразивной обработке, регулируют с учетом толщины стенок обрабатываемых деталей. При толщине стенок до 1 мм оно составляет 0,15—0,20, до 3 мм — 0,50, свыше 3 мм — 0,6 МПа. Наиболее эффективная обработка достигается при подаче струи суспензии под углом 30—45° к обрабатываемой поверхности.

Для получения незначительной, но очень равномерной шероховатости, так называемого сатинового, в качестве абразивного материала при гидроабразивной обработке используют стеклянные шарики диаметром 4 мкм при давлении струи 0,15—0,20 МПа и продолжительности 20—50 с. Подобного эффекта можно достигнуть при обработке струей сухого электрокорунда зернистостью 12 при давлении 0,25—0,30 МПа и продолжительности 40—60 с.

После гидроабразивной обработки детали промывают в пассивирующих растворах. Для этой цели можно использовать раствор, содержащий 100—150 г/л нитрита натрия и 8—12 г/л кальцинированной соды. Обработку ведут последовательно в двух ваннах, по 1,5—2 мин в каждой при 65—75°C. Детали из цветных металлов после пассивирования промывают в воде и сушат. Детали из черных металлов не подвергают промывке, и на их поверхности после пассивирования и сушки может остаться небольшой осадок солей.

## II. ОБЕЗЖИРИВАНИЕ

### 8. Способы обезжиривания

Все операции, которым подвергаются детали до поступления в гальванический цех, оставляют следы на их поверхности в виде различных загрязнений. Инеродный слой толщиной в тысячные доли микрометра резко снижает прочность сцепления покрытия с основным металлом, а при увеличении его толщины прочность сцепления падает почти в геометрической прогрессии. От качества очистки поверхности в значительной мере зависит и качество гальванических покрытий.

Загрязнения на поверхности металла могут быть различными по своей природе и свойствам. Термическая окалина, продукты коррозии, сульфидные или окисные пленки появляются в результате взаимодействия металла с окружающей средой и довольно прочно связаны с ним силами химического сродства и удаляются травлением, в процессе которого нарушается их химическая связь с металлом. Загрязнения в виде жиров, консервационных смазок, остатков полировочных паст, абразивов, охлаждающих эмульсий связаны с металлом адгезионными силами и удаляются в процессе обезжиривания, разрушающего адгезионные связи.

Способ очистки поверхности деталей от жировых загрязнений определяется их природой. Жиры минерального происхождения, к которым относятся полировочные пасты, консистентные смазки, минеральные масла, не растворяются в воде, и для их удаления применяют специальные органические растворители. Жиры растительного или животного происхождения практически не растворяются в воде, но взаимодействуют с водными растворами щелочей или солей щелочных металлов, образуя растворимые в воде мыла.

Одной только обработки деталей органическими растворителями недостаточно, чтобы очистить поверхность от загрязнений, и эта операция является лишь первой в процессе обезжиривания деталей перед осаждением покрытий.

Органические растворители токсичны, и применять их можно только при использовании специального оборудования и соблюдения соответствующих правил техники безопасности. Пожароопасными растворителями, как бензин и керосин, не следует пользоваться. После удаления следов растворителя детали поступают на химическое или электрохимическое обезжиривание.

Щелочные растворы обеспечивают удаление с поверхности металла животных и растительных жиров в результате химического или физико-химического взаимодействия с ними. При этом, хотя минеральные жиры не участвуют в реакции, при определенных условиях под воздействием щелочных растворов они могут образовывать водные эмульсии, что облегчает их последующее отделение от поверхности металла. Вводя в щелочные растворы поверхностно-активные вещества (ПАВ), можно усилить их эмульгирующее действие и тем самым активное влияние на минеральные жировые загрязнения. Под воздействием горячего щелочного раствора, содержащего эмульгаторы и вещества, понижающие межфазное натяжение на границе раствор — жир и раствор — металл, происходит разрыв жировой пленки, уменьшение

ее толщины, образование отдельных капель масла и отрыв их от поверхности металла. При этом одновременно отделяются также мелкие механические загрязнения.

Хотя, как было сказано, удаление растительных и животных жировых загрязнений с поверхности металла в щелочных растворах связано с химической реакцией их омыления и превращения в водорастворимые продукты, эта реакция не является единственным и решающим фактором, определяющим эффективность обезжиривающего действия раствора. Как показывают исследования, более важным фактором является способность щелочного раствора понижать поверхностное натяжение на границе водной и жировой фаз. Отсюда становится понятным благоприятное влияние, которое оказывает на процесс обезжиривания в щелочных растворах введение в их состав ПАВ. Это связано с их способностью образовывать так называемые мицеллы — сложные комплексы, состоящие из большого количества атомов, молекул, ионов, которые формируются при диспергировании фазы в определенной среде или при возникновении новой фазы в процессе ее конденсации из молекул и ионов. Благодаря процессу мицеллообразования ПАВ способствуют формированию в растворе весьма устойчивых эмульсий, пены, включающих в себя частицы загрязнений. ПАВ понижают межфазное поверхностное натяжение, улучшают смачивание металла, способствуют диспергированию твердых и эмульгированию жидких загрязнений, а также создают благоприятные условия для быстрого и эффективного удаления жировых и некоторых других загрязнений независимо от их природы.

Современные синтетические ПАВ разделяются на катиоактивные, аниоактивные и неионогенные. К катиоактивным относятся соли первичных, вторичных и третичных аминов, четвертичные аммониевые основания и некоторые другие соединения. Они не обладают достаточно хорошими моющими свойствами и применяются промышленностью в небольших количествах для специальных целей. К катиоактивным ПАВ относится ОС-20.

Аниоактивные ПАВ диссоциируют в водной среде с образованием отрицательно заряженного органического иона. К ним относятся мыла карбоновых кислот, алкилсульфокислоты, алкилсульфаты, алкиларилсульфонаты, в том числе такие продукты, как сульфол НП-1, НП-3, ДС-РАС.

Неионогенные ПАВ, в отличие от аниоактивных, не имеют в своем составе гидрофильной солеобразующей группы и не диссоциируют в водных растворах. К ним относятся полиэтиленгликолевый эфир, выпускаемый промышленностью как препараты ОП-7, ОП-10, ОП-20, ОП-30, синтанол ДС-10, ДТ-7. Они устойчивы в щелочной, кислой и нейтральной средах.

При выборе ПАВ в качестве добавок в обезжиривающие или другие растворы, используемые в гальванотехнике, наряду со свойствами того или иного продукта, необходимо учитывать и возможность обезвреживания его в сточных водах. Такому обезвреживанию поддаются биологически мягкие ПАВ, в отличие от биологически жестких, выведение которых из стоков затруднено или невозможно. К последней группе относятся ОП-7, ОП-10, сульфол НП-1, контакт Петрова, алкилсульфонат. Этого недостатка не имеет синтанол ДС-10, который можно применять в качестве заменителя препаратов ОП.

Обезжиривающие растворы обычно содержат два — четыре щелочных компонента и один — три ПАВ. Щелочными компонентами являются едкая щелочь, кальцинированная сода, фосфаты и силикаты. Щелочи и соли щелочных металлов омывают растительные и животные жиры и являются резервом для нейтрализации кислотных загрязнений. Фосфаты смягчают воду, способствуют диспергированию образующихся растворимых фосфорнокислых солей кальция и магния и препятствуют их повторному осаждению на поверхность металла. Кроме этого фосфаты улучшают моющую способность растворов и их склонность к пенообразованию. Способность улучшать пенообразование понижается при переходе от метафосфата к поли- и пирофосфатам. В этом же порядке уменьшается активность фосфатов по отношению к ионам кальция. Коррозия металлов усиливается при переходе от мета- к поли- и пирофосфатам.

Существенное значение для успешной очистки деталей имеет быстрое удаление с их поверхности обезжиривающего раствора и загрязнений. Легче всего смываются растворы фосфатов, затем силикатов и труднее всего кальцинированной соды и едкого натра. Наибольшей эмульгирующей способностью из указанных соединений обладают силикаты, которые содействуют также отделению и коагуляции мелких механических загрязнений. Силикаты могут образовывать на поверхности металла, в особенности цинка и алюминия, тонкие пленки, несколько повышающие стойкость металлов против коррозии в обезжиривающем растворе. Но если в дальнейшем на металл наносит гальванические покрытия, эти пленки должны быть предварительно удалены, чтобы они не препятствовали прочному сцеплению покрытия с основой. Приведенные выше соображения о роли отдельных химических соединений в процессе обезжиривания необходимо учитывать при подборе состава обезжиривающего раствора.

Эффективным способом очистки поверхности деталей от реагирующих со щелочными растворами жиров, а также механических загрязнений является электрохимическое обезжиривание. С его помощью особенно хорошо удаляются тонкие, прочно держащиеся на металле пленки. Эффективность очистки поверхности металла таким способом определяется в основном не химическим действием раствора на слой загрязнений, а изменением электрического заряда обрабатываемой поверхности и механическим воздействием на этот слой выделяющихся при электролизе пузырьков газа.

Под влиянием поляризации металла уменьшается прочность сцепления с ним жировой пленки, происходит ее разрыв и образование отдельных капель. Мелкие пузырьки газа, выделяющиеся на электроде, задерживаются каплями жира. По мере протекания электролиза мелкие пузырьки соединяются, образуя более крупные, которые постепенно вытягивают капли и, наконец, отрывают их от поверхности металла. Электролиз проводится в щелочных растворах, состав которых аналогичен применяемому при химической очистке. Но при электрохимическом обезжиривании электролит выполняет роль проводника тока и является лишь вспомогательным средством для удаления с поверхности металла загрязнений. Поэтому концентрация в нем солей и ПАВ может быть ниже, чем в растворах для химического обезжиривания.

Для электрохимического обезжиривания чаще всего используют постоянный ток при анодном или катодном включении обрабатываемых деталей. Катодная обработка проходит более интенсивно вследствие того, что при одинаковом количестве электричества, пропущенного через электролит, на катоде выделяется вдвое больше газа, чем на аноде. Однако катодное обезжиривание мало приемлемо для черных металлов, так как выделяющийся при электролизе атомарный водород сорбируется металлом и ухудшает его механические свойства. В этом отношении преимущество остается за анодным процессом, который не оказывает побочного нежелательного воздействия на сталь. Применительно к цветным металлам катодная обработка менее опасна. Анодное обезжиривание для них также применимо, но следует избегать длительной анодной обработки, которая может привести к окислению поверхности.

Обезжиривание можно проводить с использованием переменного тока пониженного напряжения. При этом не происходит наводороживания металла, повышается коэффициент полезного использования электроэнергии, за счет большей загрузки ванны увеличивается производительность оборудования. Наряду с этим обезжиривание переменным током (по сравнению с постоянным) требует затраты большего времени и дает несколько ниже качество очистки поверхности металла от загрязнений. Целесообразным является использование реверсированного постоянного тока. Исследования показали, что при определенном соотношении продолжительности катодного и анодного периодов можно достигнуть хорошего качества очистки поверхности, предотвращая одновременно процесс наводороживания металла.

Усовершенствование технологии очистки поверхности деталей в гальваническом производстве идет по пути применения новых обезжиривающих средств, интенсификации и повышения качества обезжиривания. Одним из перспективных направлений можно считать применение водных растворов на основе ПАВ. Как было показано выше, такие растворы могут позволить исключить применение токсичных и пожароопасных растворителей, снизить расход химикатов при обеспечении хорошего качества очистки поверхности деталей.

Промышленноностью выпускаются специальные мощные композиции, предназначенные не только для бытовых нужд, но и для нужд различных отраслей производства.

Добавление к растворам кислот ПАВ, улучшающих смачивание и предотвращающих коррозию металла, позволяет в некоторых случаях сочетать в одной операции обезжиривание и травление.

Для деталей, поверхность которых, помимо жиров, загрязнена мелкими твердыми частицами, например металлической пылью, целесообразным является применение эмульсионного способа очистки.

Он основан на использовании смеси органического растворителя, эмульгатора и воды или слабощелочного раствора. В такой смеси скорее происходит эмульгирование жиров и смывание механических загрязнений, чем в обычных органических растворителях или водных щелочных растворах.

Эмульсионную обработку проводят в одну или две стадии. В первом случае органический растворитель с эмульгатором

смешивают с водой или щелочным раствором. Образуются два слоя. При погружении обрабатываемых деталей в ванну они проходят последовательно через оба слоя. В верхнем слое удаляются следы минеральных масел и смазок, в нижнем слое смываются другие жировые и механические загрязнения. Двухстадийная эмульсионная очистка состоит из последовательной обработки деталей в двух ваннах: в первой находятся органический растворитель и эмульгатор, во второй — горячий щелочной раствор.

Интенсификация процессов обезжиривания достигается применением струйной обработки или ультразвукового поля. Активность водных щелочных растворов или эмульсий значительно возрастает, если они подаются на поверхность деталей под некоторым давлением. Струйная обработка особенно рекомендуется для очистки крупногабаритных изделий.

Эффективность действия ультразвукового поля основана на явлении кавитации — образовании в жидкости микроскопических, наполненных воздухом пузырьков, которые, быстро захлопываясь, создают очень высокие местные давления. Возникающие при этом гидравлические удары настолько сильны, что они срывают с поверхности металла прочно приставшие пленки жиров и других загрязнений. Степень удаления жировых пленок с помощью ультразвука почти в десять раз выше, чем химическим или электрохимическим методом. Особенно большое значение имеет способность ультразвуковых колебаний проникать в узкие щели, поры, очистка которых другими методами не дает хороших результатов. Так как ультразвуковая очистка происходит в основном за счет механических колебаний, то состав рабочей жидкости имеет меньшее значение, чем при обычном химическом обезжиривании. Поэтому при использовании щелочных растворов концентрация их может быть значительно понижена.

Использование ультразвука требует специального оборудования и дополнительных затрат. Рентабельность их будет очевидна применительно к обработке деталей, требующих особо тщательной очистки поверхности. В других же случаях (в особенности в условиях массового производства) следует предварительно провести анализ экономической и технической эффективности применения ультразвуковой очистки.

## 9. Обезжиривание органическими растворителями

Органические растворители применяют для обезжиривания в тех случаях, когда другие способы очистки мало приемлемы по техническим или экономическим соображениям. Так, например, обстоит дело с очисткой узких зазоров на деталях, глухих каналов малого сечения, тонких плоских полуфабрикатов, склонных к слипанию друг с другом. Продолжительность очистки сравнительно невелика, что также является ее положительными характеристиками. Благодаря низкой температуре испарения растворители легко подвергаются регенерации путем перегонки, что позволяет многократно их использовать. Наряду с этими положительными характеристиками за органическими растворителями сохраняется их основной и существенный недостаток — токсичность и для ряда соединений — пожаро-

опасность. Кроме того, после такой обработки на поверхности металла может оставаться тонкая жировая пленка, которая перед осаждением покрытий, в особенности из кислых электролитов, должна быть удалена обработкой в щелочных растворах или электрохимическим путем.

Используемые в гальванотехнике растворители делятся на две группы — горючие и негорючие. К первой группе относятся: бензин, керосин, толуол, уайт-спирит; ко второй группе — хлорированные и фторированные углеводороды — трихлорэтилен, тетрахлорэтилен, четыреххлористый углерод, хладон-113 (трифтортрихлорэтан, ранее носивший название фреон-113).

Если в исключительных случаях применяют первую группу растворителей, обработку в них деталей проводят погружением или протиркой мягкими волосяными щетками. Предпочтительно проводить такую обработку последовательно в двух ваннах, причем в последней должен находиться более чистый растворитель. Обезжиренные детали сушат при комнатной температуре до полного удаления следов растворителя и лишь после этого передают на последующую химическую или электрохимическую обработку. Растворители второй группы, помимо того, что они непожароопасны, характеризуются значительно лучшим обезжиривающим действием и могут применяться как в жидкой, так и в паровой фазах. Растворяющая способность различных растворителей по отношению к маслам понижается в следующей последовательности<sup>1</sup>, кг/(м<sup>2</sup>·ч): хладон-113 — 4,45; трихлорэтан — 3,10; ксялол — 2,20; тетрахлорэтилен — 1,70; бензин — 1,30; уайт-спирит — 0,90; керосин — 0,65. Из этой характеристики видно, что наиболее эффективными являются хлор- и фторсодержащие углеводороды — хладон-113, трихлорэтилен, тетрахлорэтилен.

Обезжириванию трихлорэтиленом можно подвергать сталь, медь, никель, их сплавы, ряд других металлов, а также узлы аппаратуры, паянные оловянными и серебряными припоями. Следует избегать обработки алюминия, магния и их сплавов, так как при этом происходят нежелательные реакции, сопровождающиеся выделением большого количества теплоты, что приводит к разложению продукта с образованием ядовитых соединений.

Хлорированные углеводороды, в особенности трихлорэтилен, в присутствии влаги, подвергаются гидролизу с выделением свободного хлора, в результате чего образуется некоторое количество соляной кислоты. Это обстоятельство может привести к коррозии аппаратуры и обрабатываемых деталей. Для повышения стабильности трихлорэтилена следует вводить в него 0,01 г/л уротропина или монобутиламина. Для удаления влаги перегонку трихлорэтилена проводят в присутствии кальцинированной соды.

Тетрахлорэтилен, по сравнению с трихлорэтиленом, более устойчив к воздействию влаги, повышенной температуры и контакту с металлами, поэтому его можно использовать для обезжиривания всех металлов, включая алюминий и магний.

В последнее время большее применение для обезжиривания находят хладон-113. Он отличается сравнительно большой универ-

<sup>1</sup> Козлов Ю. С., Кузнецов О. К., Тельнов А. Ф. Очистка изделий в машиностроении. М.: Машиностроение, 1982. 261 с.



зальностью растворяющего действия, хорошо смешивается с минеральными маслами, смазками, большинством кремне- и фторорганических соединений; допускает нагрев до 20—50°C, может использоваться как в жидкой, так и в паровой фазах. Хладон химически устойчив, но в присутствии следов влаги, особенно при использовании его в паровой фазе и длительном контакте с обрабатываемыми деталями, возможна небольшая коррозия цинка, алюминия, магния. Он не оказывает агрессивного действия на фторопласт, полиамиды, винилпласт, гетинакс, стеклотекстолит и ряд других полимерных материалов.

При использовании органических растворителей следует помнить о их высокой токсичности и все работы вести при обеспечении соответствующих мер по технике безопасности.

Обезжиривание деталей органическими растворителями проводят погружением в парак или струйным методом. В последнем случае наиболее полно удаляются различные загрязнения, в том числе и плохо растворимые, так как химическое действие растворителя сочетается с механическим воздействием ударяющейся о поверхность деталей струи. Наиболее эффективные результаты достигаются при последовательном обезжиривании в жидком растворителе и затем в его парах или струйной очистке. Для реализации таких процессов, в особенности при использовании трихлорэтилена и хладона-113, следует применять специальные установки, обеспечивающие герметизацию рабочей зоны и создание необходимых условий труда.

## 10. Химическое обезжиривание в щелочных растворах

Из производственной практики и по литературным сведениям известно большое количество растворов для обезжиривания металлов. Все они независимо от своего названия содержат химические соединения, выполняющие определенные функции, необходимые для высокого качества обезжиривания. Одни образуют при взаимодействии с животными и растительными жирами растворимые в воде мыла, другие — понижают прочность сцепления жировой пленки и механических загрязнений с поверхностью металла, облегчают смывание раствора, предотвращают коррозию обрабатываемых изделий. Такими соединениями являются щелочи, фосфаты, силикаты и поверхностно-активные вещества. Едкие щелочи используются главным образом при обезжиривании черных металлов. Для обработки алюминия, цинка, свинца они мало пригодны, так как эти металлы весьма интенсивно растворяются. Магний нестойк при длительном воздействии щелочного раствора, а латунь и серебро склонны к потемнению. Повышение концентрации едкой щелочи, хотя и ускоряет процесс омыления жиров, но одновременно сопровождается нежелательным явлением — образующиеся мыла трудно растворимы в концентрированных щелочных растворах. В таких растворах возрастает опасность коррозии цветных металлов, возможно разрушение других компонентов, например ПАВ, что ухудшит качество обезжиривания. Может иметь место также флотация загрязнений и перенос их на поверхности деталей в промывочные ванны и оттуда в ванны покрытий. Учитывая эти обстоятельства, для обезжиривания черных металлов используют растворы, содержащие до 100 г/л, а для обезжиривания меди и ее сплавов — не более 20 г/л едкой щелочи.

В последнее время в состав обезжиривающих растворов все всегда включают едкую щелочь. Это связано с тем, что при большой концентрации щелочи возрастает гигроскопичность моющих препаратов, при сушке обработанных деталей на их поверхности возможно образование налета карбонатов, обезжиривание таких металлов, как алюминий, цинк и их сплавы сопровождается интенсивным травлением. По указанным причинам можно считать целесообразным применение растворов с повышенной концентрацией едкого натра только для грубой, черновой очистки стальных деталей, например, поковок, отливок.

По степени щелочности обезжиривающие растворы можно разделить на три группы: сильнощелочные для грубой очистки стальных деталей ( $pH=12\div 14$ ), среднещелочные для очистки деталей перед нанесением покрытий ( $pH=10\div 12$ ) и слабощелочные для обезжиривания цветных и легких металлов ( $pH=8\div 10$ ).

Роль, которую играют в процессе обезжиривания соли щелочных металлов, еще более возрастает, если в составе раствора отсутствует едкий натр. Активным компонентом является кальцинированная сода, в значительной мере обеспечивающая щелочность среды и оказывающая омыляющее действие на растительные и животные жиры. Заметное повышение ее концентрации нежелательно, так как при этом снижается эффективность действия фосфоринокислых солей.

Фосфаты улучшают моющую способность растворов, снижают жесткость воды, способствуют диспергированию образующихся солей кальция и магния. Чаще всего в производстве используют ортофосфат  $Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$ . Между тем, его активность значительно ниже, чем метафосфатов и полифосфатов, которые могут быть выражены общими формулами:  $(NaPO_3)_x$  и  $Na_{n+2}P_nO_{3n+1}$  соответственно.

Сложные фосфаты образуют комплексные соединения с ионами щелочных и тяжелых металлов, которые растворимы лучше ортофосфоринокислых солей. Образуются также комплексные соединения с ионами железа. Повышается растворимость карбонатов и кальциевых мыл. Благодаря суспензирующему и пептизирующему действию загрязнения в растворе удерживаются в мелкодисперсной фазе, что предотвращает их повторное осаждение на поверхности деталей. Из полифосфатов практическое применение на ряде заводов находит триполифосфат натрия  $Na_5P_3O_{10}$ . Из-за высокой активности содержание его в обезжиривающем растворе может быть в два-три раза меньше, чем ортофосфата натрия.

Применяемый в щелочных обезжиривающих растворах силикат натрия является хорошим диспергатором, образует на поверхности алюминия и цинка тонкую пленку, несколько замедляющую коррозию этих металлов. Он выпускается промышленностью в виде продуктов, различающихся соотношением содержания двуокиси натрия и кремния. В ортосиликате оно составляет 2 : 1, в метасиликате — 1 : 3. При обезжиривании лучшие результаты дает применение метасиликата.

Благоприятное влияние на очистку поверхности деталей, в особенности из медных сплавов, оказывают цианистые соединения. Присутствие их в растворе даже в небольшом количестве приводит к удалению тонких окисных пленок. Такие растворы особенно целесообразно применять для обработки полированных деталей.

В последние годы все большее и достаточно обоснованное применение находят добавки в обезжиривающие растворы поверх-

носно-активных веществ. В настоящее время используются: анионоактивные ПАВ — алкилсульфонат, сульфолон НП-3, сульфолон НП-1, ДС-РАС; неионогенные ПАВ — синтанол ДС-10, синтаид-5, препараты ОП, контакт Петрова и некоторые другие.

Препараты ОП на основе полиэтиленгликолевых эфиров выпускаются различных марок. Наиболее активное эмульгирующее и смачивающее действие оказывают ОП-7 и ОП-10, которые широко применяются в обезжиривающих растворах. Эффективность действия этих препаратов возрастает, если в растворах присутствуют фосфаты. Растворимость ОП в растворах ортофосфата натрия падает с увеличением концентрации соли и повышением температуры, может наступить разложение препарата, на что указывает помутнение раствора. Препарат ОП-10 разлагается при более высокой температуре, чем ОП-7. Сравнение эффективности действия растворов, содержащих 1 г/л некоторых ПАВ, показало, что их моющая способность возрастает в следующем ряду: вторичные алкилсульфаты, сульфолон, синтанол ДС-10, синтаид-5, синтанол ДС-7. Хорошей моющей способностью обладает синтанол ДТ-10.

Содержание ПАВ в обезжиривающих растворах обычно составляет 3—8 г/л, но в некоторых случаях в зависимости от природы и концентрации других компонентов может быть понижено.

Введение в обезжиривающий раствор ПАВ позволяет уменьшить концентрацию других компонентов и одновременно повысить скорость очистки деталей от загрязнений. Эффективность их действия возрастает, если раствор содержит щелочные соли или несколько ПАВ. По литературным данным, моющая способность синтаида-5 увеличивается с повышением его концентрации до 2 г/л. Скорость очистки поверхности стали от смазочных материалов повышается при введении в раствор 2 г/л едкого натра, или 4 г/л углекислого натрия, или 5 г/л буры. Аналогичное действие оказывает добавка 10—20 г/л фосфата натрия.

Для очистки поверхности холоднокатаной стали от смазочных материалов рекомендуется раствор, содержащий 2 г/л синтаида-5 и 15 г/л тринатрийфосфата при 90°C.

Как видно из рис. 1. моющая способность растворов, содержащих одну добавку неионогенного ПАВ — синтаида или синтаида, сравнительно мала [4]. Одновременное присутствие в растворе обоих этих продуктов повышает моющую способность почти в 1,5 раза. Почти равноценная моющая способность достигается в растворе, содержащем неионогенное и анионоактивное ПАВ из группы сульфонов.

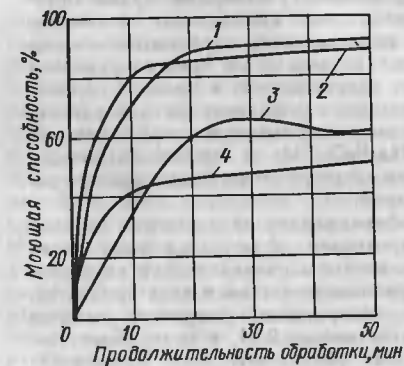


Рис. 1. Влияние ПАВ и продолжительности обработки на моющую способность обезжиривающих растворов. Растворы, содержащие углекислый натрий, тринатрийфосфат с добавками: 1 — синтаида и анионоактивного ПАВ; 2 — синтаида и анионоактивного ПАВ; 3 — синтаида; 4 — синтанола

В работе [7] предложено следующий обезжиривающий раствор, содержащий добавку двух органических соединений (в г/л): едкий натр — 40, сульфит натрия — 30, пирофосфат натрия — 10, синтанол ДС-10 — 2,5, диспергатор НФ — 3. Данный раствор характеризуется высокой моющей способностью, маслосемкостью и может заменить зарубежные обезжиривающие средства «Амбрин», ТА-8, ТА-33.

В табл. 9 приведены составы растворов для обезжиривания изделий из черных металлов. Сильно загрязненные изделия рекомендуются обрабатывать в растворах № 2, 3, 5, минеральные и растительные жиры удаляются в растворе № 8, следы полировочной пасты — в растворе № 6. Полированные изделия предпочтительно обрабатывать в растворах № 1, 4. Раствор № 7 сравнительно наиболее универсален — в нем можно обезжиривать детали из черных и цветных металлов, за исключением алюминия и его сплавов.

В табл. 10 приведены составы растворов для обезжиривания цветных металлов. Растворы № 1—5 используют для обработки изделий из меди и ее сплавов, растворы № 1, 6, 9 — алюминия и его сплавов, раствор № 7 — цинка, раствор № 8 — магния и его сплавов, раствор № 2 — серебряных покрытий и деталей из медных сплавов, паянных свинцово-оловянными припоями. В растворах № 2 и 3 следует обрабатывать сильно загрязненные изделия, в растворах № 5 и 6 — полированные изделия.

Обезжиривание в растворах, содержащих ОП, синтанол, сульфолон, ведут при 60—70°C, в отсутствие этих компонентов — при 80—90°C. Перемешивание растворов сжатым воздухом, предварительно очищенным от примеси масла, интенсифицирует процесс и улучшает качество очистки поверхности изделий. Если в процессе обезжиривания наблюдается образование чрезмерно большого количества пены, следует добавить в раствор 10—20 мл/л уайт-спирита или 0,05—0,2 мл/л органического пеногасителя ПМС-200 или КЭ-10-12.

Благоприятное влияние, которое оказывает ПАВ на процесс обезжиривания, позволяет использовать для очистки поверхности изделий ряд простых по составу растворов. Для подготовки стали или алюминия перед нанесением лакокрасочных покрытий приемлемы следующие растворы (г/л): синтанол ДС-10 — 1—3, углекислый натрий — 10—15 или синтанол ДС-10 — 5—10, моноэтаноламин — 10—12. Для стальных изделий пригоден кислый раствор (г/л): ортофосфорная кислота — 15—30, синтанол ДС-10 — 5—10.

Очистку изделий от загрязнений проводят как в стационарных условиях — погружением в ванну, так и струйным методом с использованием специального оборудования. В последнем случае содержание компонентов раствора может быть значительно уменьшено, по сравнению с указанным в табл. 9, 10. Так, например, если в стационарных условиях используется раствор, содержащий 10—20 г/л тринатрийфосфата, 40—50 г/л метасиликата натрия, 2—5 г/л ОП-7, то при струйной очистке содержание компонентов уменьшается до 5—10; 10—20; 1—3 г/л, соответственно.

В автомобильной промышленности применяют моющие композиции КМ-1, КМ-3, КМ-5, которые содержат несколько ПАВ, что способствует их эффективному использованию для подготовки изделий перед окраской. Композиция КМ-1 имеет следующий состав (массовая доля, %): триполифосфат натрия (кристалло-

Таблица 9. Состав растворов для химического обезжиривания черных металлов, г/л

Компонент раствора	Номер раствора							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Едкий натр	—	25—30	10—15	—	80—100	10	40—50	5—10
Углекислый натрий	—	25—30	30—40	—	—	25	100—150	15—30
Тринатрийфосфат (кристаллогидрат)	10—20	40—50	50—70	10—15	30—40	20	—	15—30
Триполифосфат натрия (кристаллогидрат)	5—8	—	—	20—30	—	—	—	—
Метасиликат натрия	—	1—2	2—3	2—4	—	—	—	—
Препарат ОП-7 или ОП-10	—	—	3—5	—	—	—	—	—
Синтаиол ДС-10	5—10	5—10	—	—	40—50	—	40—50	3—5
Контакт Петрова	—	1—2	—	4—6	—	—	—	—
Сульфидол НП-3	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 10. Составы растворов для химического обезжиривания цветных металлов, г/л

Компонент раствора	Номер раствора								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Едкий натр	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Углекислый натрий	10—20	20—30	—	—	40—50	15—20	—	—	10—15
Тринатрийфосфат (кристаллогидрат)	5—10	30—50	50—60	10—15	25—30	25—30	50—60	40—50	50—60
Триполифосфат натрия (кристаллогидрат)	3—5	—	5—10	—	—	—	—	—	—
Метасиликат натрия	—	3—5	10—12	—	—	—	25—30	20—30	25—30
Препарат ОП-7	—	—	—	—	2—4	—	—	—	—
Препарат ОП-10	—	—	8—10	—	—	3—4	—	—	—
Синтаиол ДС-10	8—10	—	—	—	—	—	—	—	—
Мыло хозяйственное	—	—	—	—	—	—	—	—	—

(гидрат) — 50,0; тринатрийфосфат (кристаллогидрат) — 16,6; углекислый натрий — 22,4; препарат ОП-10 — 6,0; сульфидол — 3,0; алкамон ОС-2 — 2,0.

В тех случаях, когда между операциями очистки поверхности изделий и нанесения покрытий возможен значительный перерыв, должны быть приняты меры по предотвращению коррозии металла, в особенности стали. Для этой цели используют растворы следующих составов (г/л): раствор № 1 — триэтанолламин — 5—6; азотистокислый натрий — 1—2; раствор № 2 — двуххромовокислый калий — 20—30; едкий натр — 5—10; раствор № 3 — тринатрийфосфат (кристаллогидрат) — 15—20; раствор № 4 — тринатрийфосфат (кристаллогидрат) — 25—30; триэтанолламин — 2,5—3,0; уайт-спирит — 20—25. Растворы № 1, 2 применяют при 80—90°С, раствор № 3 — при 20—30°С, а раствор № 4 — при 60—70°С.

Продолжительность обработки во всех случаях 1—2 мин. После обработки стальных деталей в растворе № 3 их не промывают в воде, а сразу же сушат при 80—90°С или обдувают сжатым теплым воздухом. При этом на металле может остаться белый налет фосфатов. В случае нанесения в дальнейшем гальванических покрытий этот налет удаляется при операциях электрохимического обезжиривания и активирования. Лакокрасочные материалы можно наносить на поверхность деталей, не удаляя тонкой пленки фосфатов, которые не ухудшают качество покрытий.

При длительном межоперационном или складском хранении деталей из меди и ее сплавов после обезжиривания их обрабатывают в течение 0,5—1 мин при комнатной температуре в растворе, содержащем 90—100 г/л двуххромовокислого калия и 20—25 г/л серной кислоты.

Раствор № 4 может использоваться для пассивирования не только стали, но и алюминия, меди и их сплавов.

Ванна для обезжиривания должна иметь сливной карман для систематического удаления загрязнений, накапливающихся на поверхности раствора. Лучший результат в этом отношении дает ванна, оборудованная насосом, который забирает чистый раствор из ее нижней части и подает его вновь в ванну сверху, что способствует непрерывному обновлению поверхностного слоя и удалению загрязнений в сливной карман.

## 11. Химическое обезжиривание в растворах на основе моющих препаратов

Применение для очистки поверхности изделий растворов готовых моющих препаратов технологически и экономически весьма целесообразно, если они сочетают хорошую обезжиривающую способность по отношению к различным загрязнениям с отсутствием коррозионного воздействия на обрабатываемые металлы. Количество выпускаемых промышленностью такого рода средств с каждым годом увеличивается и они все больше отвечают указанным требованиям. Можно полагать, что применение моющих препаратов позволит в дальнейшем полностью отказаться от использования пожароопасных и токсичных органических растворителей для подготовки изделий перед осаждением металлических покрытий.

Моющие препараты можно разделить на две группы: щелочные (пасты МЛ-51, МЛ-52, МС-5, МС-6, МС-8, Лабомид-101, Лабомид-203, Деталин, Триалон) и синтетические (ТМС-31, Аполлин-К, Вертолин-74, Импульс-К). Основой препаратов являются: первой группы — неорганические соли, к которым добавлено небольшое количество ПАВ; второй группы — органические соединения. Так например, паста МЛ-52 имеет состав (массовая доля, %): углекислый натрий — 50, триполифосфат натрия (кристаллогидрат) — 30, метасиликат натрия — 10, сульфолон НП-3 — 1,8; смачиватель ДБ — 8,2. Паста МС-8 содержит: углекислый натрий — 38, триполифосфат натрия (кристаллогидрат) — 25, метасиликат натрия — 29, синтаид-5 — 8. В отличие от них техническое моющее средство ТМС-31 имеет состав: натриевое мыло — 7, моноэтаноламид — 10, фосфорсодержащие ПАВ — 6, изопропанол — 10, триэтилендиамин — 8, олеиновая кислота — 4, вода — 55.

Такое существенное различие сказывается на свойствах моющих препаратов и определяет области их наиболее эффективного применения. Концентрация моющего препарата в водном обезжиривающем растворе обычно составляет 20—80 г/л, температура раствора 65—80°C.

Препараты МЛ-51, МЛ-52 удовлетворительно смывают минеральные масла, горюче-смазочные материалы и значительно труднее удаляют полировочные пасты. Рабочие и консервационные масла и смазки можно удалить препаратами Лабомид, Деталин, МС-6, МС-8; остатки канифольных флюсов — препаратами Искра-К, Электрин; графитовых смазок — Лабомидом. Сравнительно лучшим средством для удаления промышленных масел и, в особенности, смазок типа ЦИАТИМ-201 и УНЗ является препарат Вертолин-74Т.

Техническое моющее средство ТМС-31 — одно из наиболее эффективных. С его помощью можно удалить оставшиеся на поверхности изделий следы полировочных паст, что трудно достижимо при использовании других препаратов. Если изделия имеют сложную конфигурацию, целесообразно обезжиривание вести с использованием ультразвука. В обычных стационарных ваннах растворы, содержащие ТМС-31, в случае перемешивания их сжатым воздухом образуют обильную пену и для предотвращения этого к ним следует добавлять небольшое количество пеногасителя. Менее эффективно этот препарат очищает поверхность от графитовых смазок, загрязнений, образующихся при штамповке, прокатке, смазок типа ЦИАТИМ.

Для очистки блоков радиотехнической аппаратуры взамен смеси бензина с уайт-спиритом предложен препарат Импульс-К.

Выбирая моющие препараты для обработки тех или иных изделий, необходимо учитывать их возможное коррозионное действие на металлы. Препараты Импульс-К, Лабомид-101, Лабомид-203 пригодны для обезжиривания стальных, алюминиевых, медных, титановых, бронзовых, латуниных, цинкованных и кадмированных деталей. Углеродистая сталь менее подвержена коррозии при обработке ее в растворах Лабомид-101, КМ-1, чем в растворах Деталина и МС-6. Вертолин-74Т не вызывает коррозии стали, титановых, алюминиевых, магниевых сплавов, латуни. При длительном воздействии наблюдается травящее действие его на оловянно-фосфористую бронзу, кадмевые и оксидно-фосфатные покрытия. Производственный опыт показывает, что одним из наименее агрессивных является препарат ТМС-31, который помимо хорошего

обезжиривающего оказывает ингибирующее действие по отношению к атмосферной коррозии металлов. Особенно заметно это выявляется при межоперационной обработке деформируемых алюминиевых сплавов, которые становятся более стойкими против коррозии по сравнению с деталями, обезжиренными в щелочных растворах.

Качество очистки поверхности изделий моющими препаратами и универсальность их действия по отношению к различным типам загрязнений могут быть повышены, если в раствор ввести небольшое количество фосфатов и ПАВ. В этих случаях содержание моющего препарата может быть несколько понижено. Наибольшее влияние на снижение оптимального содержания моющих препаратов оказывают полифосфаты, меньшее — мета- и пирофосфаты. Чем ниже моющая способность препарата, тем сильнее сказывается положительное влияние полифосфатов. Введение в раствор фосфатов приводит к снижению жесткости воды, благодаря чему моющий препарат не затрачивается на эту реакцию и полностью используется для процесса обезжиривания.

Положительные результаты были достигнуты при использовании растворов следующих составов (г/л): раствор № 1 — препарат ТМС-31 — 30—40, тринатрийфосфат (кристаллогидрат) — 15—20, синтанол ДС-10 — 3—5; раствор № 2 — препарат Деталин — 40—60, тринатрийфосфат (кристаллогидрат) — 20—30, синтанол ДС-10 — 3—5; раствор № 3 — паста «Специальная» или «Триалон» — 30—60, тринатрийфосфат (кристаллогидрат) — 20—30, уайт-спирит — 10—20, препарат ОП-7 — 0,5—2,0.

В указанных растворах достигается удовлетворительная очистка поверхности стали и медных сплавов от производственных загрязнений.

Обезжиривающие растворы на основе моющих препаратов применяют для стационарных ванн, струйной и ультразвуковой очистки. В последних двух случаях содержание препаратов может быть понижено. Корректирование растворов при эксплуатации обычно не проводят, а по мере выработки заменяют свежеприготовленными.

## 12. Одновременное обезжиривание и травление

Совмещение операций обезжиривания и травления технологически и экономически целесообразно, в особенности при работе на автоматических линиях. Однако в настоящее время этот процесс реализуется лишь для черных металлов. В дальнейшем, по мере разработки и освоения выпуска новых ПАВ и ингибиторов коррозии можно будет распространить его на цветные металлы.

Растворы для выполнения указанных операций по подготовке поверхности деталей перед нанесением покрытий содержат травильный и обезжиривающий компоненты и ингибиторы коррозии металлов в данной среде. В качестве первого компонента используют серную, соляную или фосфорную кислоту, второго — ПАВ. Хорошие результаты достигаются при обработке изделий, имеющих сравнительно небольшой слой загрязнений. Толстые слои, в особенности консервационных смазок, труднее поддаются эмульгированию и поэтому прочнее удерживаются на поверхности металла. Минеральные масла и смазки медленно отделяются от металлической поверхности при комнатной температуре растворов. Повышение

Таблица 11. Составы растворов для одновременного обезжиривания и травления черных металлов, г/л

Компонент раствора	Номер раствора								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ортофосфорная кислота	200—220	200—220	200—220	150—200	200—220	—	100—200	—	—
Серная кислота	100—120	—	—	—	150—170	—	—	—	—
Хлористый натрий	—	—	—	30—40	—	—	—	—	—
Уротропин	—	—	—	—	7—8	5—15	—	—	—
Синтанол ДС-10	10—12	10—12	4—6	—	2—3	5—7	5—15	—	—
Препарат ОП-7	—	—	5—7	—	10—20	—	—	—	—
Тиомочевина	—	—	20—25	150—180	—	100—200	—	3—5	200—250
Уайт-спирит	—	—	—	10—15	—	—	—	3—5	—
Соляная кислота	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Сульфолон НП-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Щавелевая кислота	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Тринатрийфосфат	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Синтаמיד-5	—	—	—	—	—	—	—	—	—

температуры облегчает этот процесс, но одновременно интенсифицирует травление металла.

Неравномерность толщины жировых загрязнений и продуктов коррозии может явиться причиной неравномерной обработки и местного перетравливания металла. Поэтому в растворах для одновременного обезжиривания и травления особенно целесообразно обрабатывать детали, имеющие сравнительно небольшой слой загрязнений и продуктов коррозии.

В табл. 11 приведены составы растворов для одновременного обезжиривания и травления черных металлов. В растворах № 1, 2, 7, 9 с поверхности деталей удовлетворительно удаляются штамповочные и консервационные смазки и минеральные масла. Раствор № 8 использовался на автоматических линиях покрытий. Обработку в растворах № 1, 2, 3, 6, 8 ведут при комнатной температуре, в других растворах допустимо повышение температуры до 60 °С. Во избежание наводороживания металла продолжительность обработки изделий должна быть небольшой.

Проведенные исследования показали, что прочность сцепле-

ния никелевого покрытия с образцами из стали 65Г, приварительно обработанными в растворах № 1 или 2, хорошая — при испытании на перегиб не наблюдалось отслаивания покрытия.

Одновременное обезжиривание и травление может проводиться как в стационарных ваннах, так и струйным методом. При чрезмерном образовании пены следует добавлять кремнийорганический пеногаситель. Если для струйной обработки используют растворы, содержащие сериуну кислоту, рекомендуется добавлять в них 3—5 г/л тиомочевины, что способствует уменьшению образования шлама.

### 13. Электрохимическое обезжиривание

Растворы, используемые для электрохимического обезжиривания, содержат в основном те же компоненты, что и растворы, применяемые при химической очистке. Но учитывая активную роль, которую играют в электрохимическом процессе выделяющиеся на электроде пузырьки газов, содержание компонентов в этом случае может быть значительно понижено. Выделяющиеся пузырьки не только способствуют отрыву слоя загрязнений от поверхности металла, но и облегчают их эмульгирование. Подбирая состав электролита, следует принять меры для получения высокой электропроводности его, что позволит увеличить плотность тока на ванне, снизить напряжение, уменьшить затраты электроэнергии.

Электропроводность раствора определяется главным образом концентрацией в нем едкой щелочи и углекислого натрия. Последний применяют преимущественно в электролитах для очистки мало загрязненных деталей. Фосфаты облегчают смываемость загрязнений, причем повышение их концентрации значительно улучшает работу электролита. Эмульгирующее действие оказывает метасиликат натрия.

Поверхностно-активные вещества не вводят в электролиты или вводят в небольшом количестве. Содержание ПАВ, принятое для растворов химического обезжиривания, неприемлемо при электрохимическом процессе, так как наблюдается образование большого количества пены на поверхности ванны. Обильная пена затрудняет удаление выделяющихся на электродах газов, что может привести к образованию взрывоопасной газовой смеси, поэтому в качестве эмульгаторов чаще используют метасиликат натрия, а органические ПАВ, если и вводят, то их содержание в три — пять раз меньше, чем при химическом обезжиривании. Для устранения пенообразования можно добавлять в электролит кремнийорганическую жидкость ПМС-200, как в процессах химической очистки.

Электрохимическое обезжиривание целесообразно применять для снятия с поверхности металла небольшого слоя жира. Обычно этому процессу в гальваническом цехе предшествует химическое обезжиривание, которое удаляет основную массу загрязнений. По сравнению с химическим электрохимическое обезжиривание дает более тщательную подготовку поверхности металла перед осаждением гальванических покрытий.

Обработку деталей из цветных металлов ведут на катоде. Подобная обработка черных металлов, в особенности если она длительная, может привести к их наводороживанию, что ухудшает механические свойства деталей. Электрохимическое обезжиривание черных металлов начинают при катодной поляризации, но незадолго до окончания процесса изменяют полярность. Для стальных

пружи и деталей из тонкого закаленного металла (во избежание их охрупчивания) следует применять только анодное обезжиривание.

Повышение плотности тока при электролизе интенсифицирует процесс очистки. При этом несколько снижается возможность наводороживания металла. Полностью исключить диффузию водорода в металл можно используя переменный ток промышленной частоты напряжением 10—15 В при плотности тока 8—10 А/дм<sup>2</sup>. При этом увеличивается продолжительность очистки до 10—15 мин. Заметного ускорения процесса обезжиривания можно достигнуть повышением плотности тока до 30—40 А/дм<sup>2</sup>, что не всегда выполнимо и связано с увеличением расхода электроэнергии.

Ускорения процесса обезжиривания стальных деталей с одновременным уменьшением возможности их наводороживания можно достигнуть электролизом с применением реверсивного постоянного тока. Увеличение продолжительности анодного периода снижает скорость очистки поверхности металла, но одновременно уменьшает количество поглощаемого им водорода. По опытным данным, оптимальным является следующий режим: продолжительность катодного периода 20 с, анодного 10—15 с, плотность тока 6—8 А/дм<sup>2</sup>.

В табл. 12 приведены составы растворов для электрохимического обезжиривания. Стали всех марок рекомендуется обрабатывать в растворе № 2, чугун — в растворе № 3, сталь, медь и ее сплавы, а также сплавы типа ковар — в растворе № 1, свинец, кадмий, алюминий, магний и их сплавы — в растворе № 4, цинк — в растворе № 8. Наиболее универсальны растворы № 5 и 7 — их можно использовать для обезжиривания различных металлов и гальванических покрытий. Раствор № 6 рекомендуется для обезжиривания с применением переменного тока. Нижний предел содержания компонентов растворов следует использовать при обработке полированных деталей.

Во всех случаях электролиз ведут при плотности тока 3—10 А/дм<sup>2</sup>, напряжение источника постоянного тока 12 В. Соотношение площади обрабатываемых деталей и противоположного электрода — 1 : 1,5—1 : 2. Противоположным электродом служит никель или никелированная сталь. Температура электролитов, не содержащих ПАВ, 70—80°C, с добавками ПАВ — 60—70°C. Продолжительность очистки мало загрязненных деталей 1—3 мин, при большом загрязнении она увеличивается до 5—10 мин.

Для обработки деталей из меди и ее сплавов, а также деталей, имеющих медное покрытие, можно использовать раствор, содержащий свободный цианид, следующего состава (г/л): углекислый натрий — 20—40, триаитрийфосфат — 20—40, цианистый натрий — 5—15. Обработку ведут при температуре 30—40°C на катоде при плотности тока 4—6 А/дм<sup>2</sup>. В таком растворе с поверхности деталей удаляются не только жировые загрязнения, но и тонкие окисные пленки, т. е. одновременно идет процесс активирования металла.

#### 14. Эмульсионное обезжиривание

Эмульсионная очистка применяется, прежде всего, в тех случаях, когда на поверхности металла помимо жировых загрязнений, имеются мелкие твердые частицы, например металлическая пыль, и вещества, плохо растворимые в органических растворителях. Эмульсия содержит растворитель, ПАВ, в том числе эмульгатор,

стабилизатор, ингибитор коррозии обрабатываемого металла и 50—90% воды. В некоторых случаях в нее вводят небольшое количество щелочных солей. При взаимодействии такой композиции с жировыми загрязнениями образуются растворимые в воде соединения, понижается прочность связи загрязнений с поверхностью металла.

Эмульсионное обезжиривание особенно эффективно применять для деталей, прошедших механическую обработку с использованием охлаждающих водомасляных эмульсий или других смазок, а также для подготовки деталей перед осаждением лакокрасочных покрытий. Для нанесения гальванических покрытий после эмульсионной очистки рекомендуется провести электрохимическое обезжиривание.

Эмульсионную очистку можно проводить в одну или две стадии. В первом случае органический растворитель и эмульгатор смешивают с водой или слабощелочным раствором в соотношении 1 : 10—1 : 200. При многократном погружении деталей в такую смесь они последовательно проходят два слоя — растворителя и воды; прореагировавшие в первом слое загрязнения смываются в зоне второго слоя.

При двухстадийном процессе детали сначала погружают в ванну с растворителем и эмульгатором, а затем — в ванну с горячей водой или слабощелочным раствором.

Эмульсионную очистку можно проводить как в стационарной ванне, так и в установках для струйной обработки. В последнем случае используют менее концентрированные растворы, с пониженным содержанием ПАВ; температура раствора 30—40°C, давление струи 0,1—0,15 МПа.

Для подготовки деталей перед нанесением лакокрасочных покрытий предложен следующий

Т а б л и ц а 12. Состав растворов для электрохимического обезжиривания, г/л

Компонент раствора	Номер раствора							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Едкий натр Углекислый натрий Триаитрийфосфат (кристаллогидрат) Метасиликат натрия Синтабол ДС-10	10—20 40—50 40—50 3—5 1—2	30—40 20—30 40—60 3—5 1—2	50—60 20—35 — 5—10 —	5—10 30—40 3—5 —	—50 30—40 40—60 3—5 1—2	—30 25—30 25—30 — 1—2	5—10 20—40 20—40 2—4 —	—150 120—150 4—5 —

эмульсионный состав (массовая доля, %): трихлорэтилен — 2—3, ДС — РАС натриевый — 1,5—2,0, препарат ОП-10 — 0,75—1,0, пирофосфорнокислый натрий — 0,5—0,7, ингибитор — 0,2—0,3, вода — остальное.

При двухстадийной обработке стальных деталей в качестве первого раствора может служить следующая смесь (массовая доля, %): керосин — 88, олеиновая кислота — 7, триэтанолламин — 4, трикрезол — 1 (разбавляется водой в соотношении 1:10—1:20). Вторая стадия заключается в промывке деталей горячей водой.

Для очистки поверхности деталей от производственных загрязнений разработана эмульсия на основе трихлорэтилена, которая содержит (массовая доля, %): трихлорэтилен — 20—25, моноэтанолламин — 2, олеиновая кислота — 1, вода — 77—72. При испытании сталей марок Ст45, У8А, 40Х, 2Х, 2Х13, 12Х18Н10Т в указанном растворе не наблюдалось коррозии. Для повышения стойкости против коррозии цветных металлов предлагается вводить в эмульсию небольшое количество бензотриазола.

### 15. Обезжиривание с применением ультразвука

Использование ультразвукового излучения в процессе химического обезжиривания в отличие от других способов позволяет достигнуть высокого качества очистки поверхности от химических и механических загрязнений. По литературным сведениям, ультразвуковая обработка в специально подобранных моющих средах позволяет удалять загрязнения до  $10^{-9}$  г/см<sup>2</sup>. Особенно большое значение это имеет в точном приборостроении, электронной технике и некоторых других отраслях промышленности. Применение ультразвука позволяет удалять загрязнения с труднодоступных участков поверхности — узких щелей, глухих отверстий. В несколько раз возрастает скорость обезжиривания.

Эффективность ультразвуковой очистки поверхности определяется удельной акустической мощностью, частотой колебаний, составом рабочего раствора. Интенсивность очистки уменьшается с повышением частоты колебаний. При частоте 20—25 кГц высокое давление распространяется на расстоянии 7—8 см от источника излучения и в этой зоне процесс идет наиболее эффективно. С повышением частоты колебаний зона высокого давления расширяется до 10—15 см от источника ультразвука, но интенсивность очистки снижается из-за низкой амплитуды колебаний.

Наиболее часто применяемый режим ультразвуковой очистки: частота 20—40 кГц, удельная мощность 1—3 Вт/см<sup>2</sup>. Для обработки мелких деталей, имеющих небольшие узкие зазоры или отверстия малого диаметра, частоту повышают до 200—500 кГц. Повышение удельной мощности ускоряет процесс удаления загрязнений с поверхности металла. Оптимальное значение ее устанавливают с учетом размера и конфигурации обрабатываемых деталей, конструкции ванны и расположения в ней источников излучения. При обработке в органических растворителях акустическая мощность может быть несколько ниже, чем при использовании водных моющих растворов.

Увеличение температуры рабочего раствора приводит к повышению качества и скорости ультразвуковой очистки. Оптимальная температура зависит от характера загрязнений и состава рабочей среды. Для очистки изделий в водных растворах от следов невязких минеральных масел целесообразен нагрев до 55—60°C,

от следов полировочных паст — 70—80°C. Если рабочей средой является вода, ее нагревают до 55—65°C. Для органических растворителей желателен нагрев до 40—45°C, если это допускается правилами техники безопасности. Очистка поверхности изделий идет и при комнатной температуре раствора, но значительно медленнее.

Для более полного и быстрого удаления загрязнений рекомендуются обрабатываемые детали предварительно выдерживать некоторое время в рабочем растворе, что способствует набуханию приставших к поверхности частиц, ослаблению их связи с металлом. Предварительный нагрев изделий способствует размягчению загрязнений, повышению их текучести, что также ускоряет последующее удаление при ультразвуковой обработке.

Для ультразвуковой очистки используют специальные установки, включающие ванну, оборудованную соответствующими датчиками, и ультразвуковой генератор. Обрабатываемые детали следует располагать в ванне так, чтобы вся их поверхность находилась под воздействием ультразвукового поля. Перегородки или другие преграды оказывают экранирующее действие на распространение ультразвуковых колебаний. В этих случаях необходимо устанавливать дополнительные источники излучения или перемещать детали в ванне так, чтобы все участки поверхности подвергались воздействию ультразвука. Мелкие детали загружают в ванну в металлических или пластмассовых перфорированных корзинах или сетках.

Небольшие партии мелких деталей можно обрабатывать в стеклянной посуде, заполненной рабочей жидкостью и помещенной в ванну в зоне действия ультразвукового поля. Стекло обладает хорошей проницаемостью для ультразвука, что приводит к меньшей потере энергии, чем при использовании металлических или пластмассовых ванн.

В качестве рабочих жидкостей при ультразвуковом обезжиривании могут быть использованы как органические растворители, так и водные щелочные растворы, а иногда даже вода.

Из хлорорганических растворителей наиболее эффективным показал себя трихлорэтилен, к которому, как было указано выше, добавляют стабилизатор. Хорошие результаты дает также применение четыреххлористого углерода. Оба эти продукта хорошо растворяют минеральные жиры. Четыреххлористый углерод следует оберегать от контакта с влагой, так как в этом случае, в результате гидролиза, так же, как и в трихлорэтилене может образоваться соляная кислота. При наличии в растворителе более 10 % влаги, его не следует применять для обезжиривания.

В качестве водных обезжиривающих растворов могут использоваться те же составы, что и при химическом обезжиривании. Однако учитывая сильное интенсифицирующее воздействие на процесс ультразвука, применение большого содержания компонентов нецелесообразно. Практически содержание основных составляющих обезжиривающих растворов может быть снижено в несколько раз. Применение добавок ПАВ, как и в других случаях, способствует повышению качества и уменьшению продолжительности очистки поверхности деталей.

В табл. 13 приведены составы водных растворов для обезжиривания с применением ультразвука. Растворы № 3, 7 рекомендуются для обработки черных металлов, растворы № 4, 5 — меди и ее сплавов, раствор № 6 — алюминия, раствор № 2 — меди, цинка,

Таблица 13. Составы растворов для обезжиривания с применением ультразвука, г/л

Компонент раствора	Номер раствора							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Едкий натр	5—10	4—6	25—30	—	3—5	—	—	—
Углекислый натрий	15—25	6—8	—	—	3—5	—	—	—
Тринатрийфосфат (кристаллогидрат)	40—60	10—12	—	30—40	—	—	10—20	80—100
Метасиликат натрия	—	—	20—25	—	—	—	—	—
Синтанол ДС-10	—	—	10—12	1—3	—	—	—	—
Азотистокислый натрий	—	—	—	—	1—3	—	—	—
Двухромовокислый калий	—	—	—	—	0,5—0,8	—	—	—
Препарат ОП-10	—	—	—	—	—	3—5	—	—
Сульфидол НП-1	—	—	—	—	—	—	3—5	—

алюминия и их сплавов, раствор № 8 — алюминия и цинка. Наиболее универсален раствор № 1 — в нем можно обрабатывать как черные, так и цветные металлы. Раствор № 4 пригоден для обработки деталей из полимерных материалов.

Наличие в растворах бихрома калия и нитрата натрия способствует пассивированию очищаемой поверхности металла.

Для очистки от загрязнений поверхности изделий из золота и его сплавов целесообразно использовать раствор, который имеет состав, содержащий (мл/л): жидкое мыло — 50, щавелевую кислоту (10%-ную) — 10, этиловый спирт — 10, аммиак (25%-ный) — 15. Раствор для обработки точных деталей из стали содержит: жидкое мыло — 25—30 мл, этиловый спирт — 90—100 мл, аммиак (25%-ный) — 35—40 мл, щавелевую кислоту — 3—4 г. в воду — 3—5 мл.

Если ультразвуковую обработку используют для удаления мелкого грата на деталях, то рабочей средой в этом случае служит водно-глицериновая смесь в соотношении 1:1 по объему, в которую добавляют 30—40% (от объема смеси) микрпорошка карбида бора с размером зерен 3,5—15 мкм [5].

При повышенных требованиях к степени очистки поверхности деталей от загрязнений после ультразвукового обезжиривания проводят ультразвуковую промывку в деминерализованной воде.

Подробные сведения о способах ультразвуковой очистки, технологии обработки различных изделий и технико-экономической эффективности приведены в работе [5].

## 16. Промывка

Промывка деталей после различных операций технологического цикла осаждения на них гальванических покрытий выполняется не всегда с той тщательностью, которой она заслуживает. Между тем от качества промывки после обезжиривания и травления во многом зависит качество покрытий, работа всех электролитов и состав сточных вод.

Промывка проводится с целью уменьшения концентрации химических соединений на поверхности обрабатываемых деталей до такой величины, когда они не будут оказывать неблагоприятного действия на качество выполнения последующих операций и процесса получения покрытий в целом, а также на состав раствора в ванне, в который детали погружаются после промывки. Неполная промывка влечет за собою весьма неприятные последствия. Если, например, после щелочного обезжиривания с поверхности металла только частично удалены образовавшиеся мыла, то при последующем кислотном травлении они могут вновь перейти в жирные кислоты, что, естественно, резко ухудшит качество проведенного обезжиривания. Остатки жировых пленок, смачивающих веществ, моющих препаратов затрудняют доступ травильных растворов ко всей поверхности деталей и поэтому травление может проходить неравномерно. После травления стали на поверхности может остаться шлам, не растворяющийся в кислотах. Даже следы этого шлама существенно ухудшают прочность сцепления гальванических покрытий с основой.

Накопление в промывной воде продуктов, образовавшихся в процессе обезжиривания или травления металлов, неблагоприятно сказывается при ее дальнейшем использовании. По данным работы [1] при содержании в воде 3 г/л  $SO_4^{2-}$  степень обезжиривания снижается с 93 до 75% и проникаемость коррозии возрастает на 25%. Совместное присутствие  $Fe^{2+}$  и  $SO_4^{2-}$  еще больше ухудшает качество обезжиривания и интенсифицирует развитие коррозии. Источником загрязнения может явиться и сама вода, если она повышенной жесткости. В этом случае на поверхности деталей иногда образуется пленка труднорастворимых карбонатов. Ионы кальция и магния, взаимодействуя с мылами, образуют труднорастворимую пену. Во избежание таких случаев рекомендуется умягчать воду или предварительно очищать ее.

Качество промывки зависит от эффективности химического и механического воздействия воды на покрывающий металл слой, что в значительной мере определяется способом промывки, т. е. системой подачи и слива воды, обработки деталей методом погружения или струйным методом, продолжительностью воздействия водной среды, скоростью обмена воды и стекания ее с поверхности деталей.

После обезжиривания и травления промывку проводят обычно погружением деталей в стационарные ванны с проточной водой. Струйная промывка действует более эффективно, но она затруднена при обработке профилированных деталей. Лучшие результаты достигаются при комбинированном способе, когда детали погружаются в промывную ванну и затем, при их выгрузке, над зеркалом раствора подвергаются струйной обработке.

Сравнение различных способов подачи и слива воды показало [12], что если они проводятся сверху ванны, то большая часть



воды не участвует в процессе отмывки загрязнений и качество очистки получается неудовлетворительным. Недостаточная отмывка загрязнений наблюдается при подаче воды снизу и ее слива вверху ванны. Перемешивание воды сжатым воздухом существенно не изменяет положение. Как было сказано выше, относительно лучший результат достигается при последовательной промывке погружением и затем струйной обработке с дозированной подачей воды через щелевые форсунки и сливом ее внизу ванны.

В зависимости от операций, до и после которых проводится промывка, она может быть одноступенчатой, т. е. в одной ванне, или многоступенчатой — последовательно в нескольких промывных ваннах. В зависимости от системы подачи воды различают прямоточную промывку, когда подача и слив ее проводятся самостоятельно в каждую ванну, и противоточную промывку, когда используется ряд ванн, причем вода подается в последнюю ванну, самотеком поступает из нее последовательно в предыдущие ванны и ее слив осуществляется из первой ванны. Таким путем, детали, перемещаемые в направлении, противоположном движению воды, последовательно промываются во все более чистой воде. Это улучшает качество промывки и одновременно заметно уменьшает расход воды, что является весьма важным показателем экономичности гальванотехнического производства.

Одноступенчатую прямоточную промывку применяют после операций активирования перед нанесением покрытий на подвесках, между операциями обезжиривания, после кислых растворов перед сушкой, после травления перед контактной сваркой. В остальных случаях предпочтительнее применять противоточную, обычно двухступенчатую промывку.

Температурный режим промывки изменяется в зависимости от того, до или после каких операций она проводится. В заключительных операциях процесса нанесения покрытий, перед сушкой деталей промывку ведут при 70—90°C, кроме деталей с хромированным цинковым или кадмиевым покрытием и алюминированных деталей с оксиднофосфатным покрытием. После обезжиривания, травления легких сплавов, хромирования, химического оксидирования черных металлов используют промывную воду при температуре 40—50°C, в остальных случаях — при комнатной температуре.

Обычно принимают, что в течение часа вода в ванне должна полностью смениться один-два раза. Можно определить расход воды с учетом уноса ее деталями, количества ступеней промывки, площади деталей, критерия качества промывки по следующей формуле:

$$Q_p = q \sqrt[N]{K^0 F},$$

где  $Q_p$  — расход воды, л/ч;  $q$  — удельный унос раствора из ванны поверхностью деталей, л/м<sup>2</sup>;  $N$  — количество ступеней (ванн) промывки, шт.;  $F$  — величина промываемой поверхности, м<sup>2</sup>/ч;  $K^0$  — критерий окончательной промывки.

Критерий окончательной промывки, характеризующий ее качество, показывает, во сколько раз следует уменьшить содержание основного компонента раствора, выносимого поверхностью деталей, до предельно допустимых значений в последней ванне данной операции промывки, и рассчитывается по формуле

$$K^0 = C_0 / C_n,$$

где  $C_0$  — концентрация основного компонента в растворе, применяемом для операции, предшествующей промывке, г/л;  $C_n$  — предельно допустимая концентрация основного компонента в промывной воде после промывки, г/л.

Критерий окончательной промывки уменьшается при наличии ванн улавливания непосредственно после покрытия деталей. Такие ванны устанавливают, если суточные потери электролита составляют не менее 20% объема ванны улавливания. После хромирования, осаждения драгоценных металлов, а также после осаждения покрытий в цианистых электролитах улавливание обязательно.

С целью уменьшения потери электролита и расхода воды при промывке мелких деталей, на которые осаждают покрытие в барабанной ванне, целесообразно использовать душевую промывку. Для этого барабан с деталями устанавливают над ванной-сборником. Скапливающаяся на дне ванны промывная вода содержит довольно значительную концентрацию компонентов электролита и может быть использована для его пополнения.

Методика расчета расхода воды на промывку деталей, включающая данные об удельном выносе раствора и предельно допустимой концентрации основного компонента в воде после промывки, приведена в ГОСТ 9.047—75.

## 17. Контроль качества обезжиривания

Контроль качества очистки поверхности деталей от загрязнений можно проводить различными способами в зависимости от назначения операции очистки и требуемой чувствительности контроля. На производстве наиболее распространен способ, основанный на определении полноты смачивания поверхности водой. При наличии на ней частиц загрязнений или жировой пленки происходит нарушение сплошности водяного слоя. Следует учитывать, что сплошная водяная пленка может иногда образоваться и на загрязненных участках поверхности, если они недостаточно тщательно промыты от следов ПАВ, содержащихся в обезжиривающем растворе. Поэтому применяя такой метод контроля, необходимо сочетать его с тщательным визуальным осмотром поверхности деталей. Чувствительность его может быть повышена в несколько десятков раз, если водяной слой наносить на детали не погружением их в воду, а распылением воды. Дальнейшее заметное повышение чувствительности достигается распылением воды, содержащей красящий пигмент. В этом случае облегчается выявление недостаточно хорошо очищенных участков поверхности металла.

Для контроля качества очистки глубоких глухих полостей деталей можно протереть их поверхность фильтровальной бумагой или тонкой белой тканью. Помимо визуальной оценки наличия загрязнений может быть проведена и количественная оценка по разности массы бумаги до и после протирки.

Способность менее благородных металлов вытеснять более благородные из растворов их солей также может быть использована для контроля качества очистки поверхности от загрязнений. При контроле стальных, чугунных и алюминиевых деталей применяют 3%-ный раствор сернистой меди, при контроле цинковых — концентрацию ее понижают до 0,1—0,05%. При испытании медных

и латунных деталей применяют 3%-ный раствор азотнокислой закисной ртути. Целесообразность и возможность использования того или иного метода контроля качества очистки хорошо видна из проведенного сравнения эффективности трех методов: по краевому углу смачивания, степени растекания распыляемой жидкости и люминесцентного контроля.

Люминесцентный метод весьма чувствительный и позволяет обнаружить даже незначительные загрязнения, например остающиеся от прикосновения пальцев к металлу, но полученные с его помощью данные не всегда согласуются с характеристиками степени очистки поверхности по краевому углу смачивания и степени растекания жидкости. Характерными в этом отношении являются опыты с электрохимически полированными образцами. В результате промывки в органическом растворителе и последующего электрохимического полирования поверхность стали освобождается от загрязнений, что подтверждается люминесцентным контролем. Наряду с этим два других метода показывают крайне неблагоприятную картину, свидетельствующую о наличии на поверхности металла инородной пленки. После активирования образцов в разбавленной соляной кислоте все три метода контроля в равной мере показывают отсутствие на металле жировых или каких-либо других пленок. Это связано с тем, что хотя электрополированная поверхность стали действительно свободна от механических и жировых загрязнений, но она покрыта тонкой окисной пленкой, придающей ей гидрофобные свойства, что и фиксирует люминесцентный контроль. При активировании эта пленка растворяется, и металл равномерно смачивается водой.

При осаждении гальванических покрытий необходимо, чтобы поверхность обрабатываемых деталей была очищена не только от жировых или механических загрязнений, но и хорошо смачивалась водой, т. е. была гидрофильна. Очевидно, что в этих условиях люминесцентный метод неприемлем для гальванотехнического производства. Он хорошо зарекомендовал себя для контроля качества очистки поверхности точных деталей в сборочных цехах.

Достаточно точную характеристику гидрофильных свойств поверхности металла дает определение краевого угла смачивания, но провести это можно лишь в лабораторных условиях. С полученными таким путем данными хорошо коррелируются результаты контроля методом распыления жидкости, который может быть использован и для выборочной проверки качества очистки деталей в цехе. Контроль всех деталей можно проводить по смачиваемости их при промывке в проточной воде. При этом осматриваемую деталь следует располагать под углом  $45^\circ$ , ее смачиваемая поверхность должна быть не меньше  $1 \text{ дм}^2$ .

### III. ТРАВЛЕНИЕ

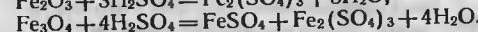
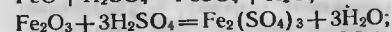
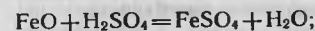
#### 18. Способы травления

При изготовлении, транспортировке и хранении металлические изделия и полуфабрикаты (ленты, проволоки, листовой прокат) подвергаются воздействию окружающей среды, в результате чего

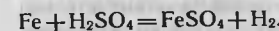
их поверхность покрывается термической окалиной, продуктами коррозии. Этот инородный слой не только ухудшает внешний вид изделий, но и существенно препятствует доброкачественному выполнению последующих технологических операций. Перед осаждением на изделия металлических или оксидных покрытий поверхность их должна быть очищена от указанных химических соединений. Для этой цели используют травление.

Состав оксидного слоя, образующегося на металле под воздействием окружающей среды, неодинаков по толщине. Внешний слой обычно обогащен высшими окислами, тогда как у поверхности находятся, преимущественно, низшие окислы. Так окалина на железе состоит, если рассматривать ее от внешнего слоя к внутреннему, из окислов  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , а у поверхности металла — из закиси  $\text{FeO}$ . На меди внешний слой состоит из окиси  $\text{CuO}$ , а внутренний — из закиси  $\text{Cu}_2\text{O}$ .

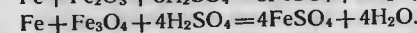
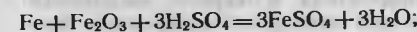
Процессы, происходящие при травлении в серной кислоте, например железа, на поверхности которого имеется окалина, выражаются следующими реакциями:



Так как слой окислы пористый, неравномерный по толщине, а на отдельных участках вообще отсутствует, то при травлении вместе с окислами происходит и частичное растворение металлического железа по реакции



Одновременное растворение металла и окислов можно представить следующими реакциями:



Для травления черных металлов используются в основном растворы серной и соляной кислот. Скорость растворения в них окислов зависит от концентрации и температуры кислоты. При концентрации до 5% растворимость  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  в обеих кислотах почти одинаковая. При концентрации свыше 40% окалина лучше растворяется в соляной кислоте, чем в серной. В последней из них окалина удаляется в значительной мере благодаря нарушению ее связи с металлом в результате подтравливания и разрыхления выделяющимся при реакции водородом. Повышение в определенных пределах концентрации кислоты и температуры раствора ускоряет травление. Скорость травления в зависимости от концентрации кислоты достигает максимума при 25%  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . При повышении температуры 10%-ного раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  от 15 до  $60^\circ\text{C}$  скорость травления возрастает в 10—15 раз, поэтому в практике применяют 20—25%-ные растворы серной кислоты при температуре 50— $60^\circ\text{C}$ .

В соляной кислоте, в отличие от сернокислого раствора, удаление окислы происходит преимущественно за счет ее химического растворения. Повышение температуры не оказывает большого влияния на скорость процесса. На практике используют 10—20%-ные растворы соляной кислоты при комнатной температуре.

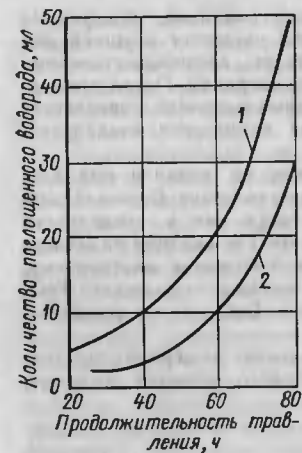


Рис. 2. Влияние состава раствора и продолжительности травления на поглощение водорода сталью: 1 — 297 г/л HCl; 2 — 387 г/л H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Учитывая различный характер воздействия кислот на железо и окислы, целесообразно применять для травления следующие смеси (%): серная кислота — 5, соляная кислота — 15 или серная кислота — 10, соляная кислота — 10.

Накапливающиеся в травильных растворах соли двухвалентного железа приводят к снижению скорости травления, а соли трехвалентного железа могут вызвать ускорение этого процесса.

Независимо от того, в какой кислоте проводится травление стали, оно сопровождается нежелательными побочными процессами. Растворение основного металла может привести к перетравливанию поверхности, неравномерному съему, увеличению микрощероховатости. Все это ухудшает внешний вид изделий и недопустимо при обработке точных элементов аппаратуры. Сорбция металлом выделяющегося при травлении водорода приводит к ухудшению его механических свойств — значительно

повышается хрупкость, уменьшается вязкость, ухудшаются упругие характеристики. Особенно сильно это влияние сказывается на деталях, работающих при знакопеременных нагрузках. При одинаковой температуре травление стали в серной кислоте сопровождается большим выделением атомарного водорода и большим его поглощением металлом, чем травление в соляной кислоте (рис. 2 [10]).

Для устранения влияния сорбированного металлом водорода изделия прогревают в течение 2—3 ч при температуре 200—250°C. Обработку следует проводить сразу же после травления, так как с течением времени десорбция водорода все более затрудняется. Однако таким путем не удастся полностью удалить сорбированный металлом водород, поэтому следует принимать меры по предотвращению наводороживания металла непосредственно в процессе травления. С этой целью в травильные растворы вводят ингибиторы коррозии, которыми служат некоторые соли и органические соединения. Добавка к серной кислоте небольшого количества хлористого натрия увеличивает скорость растворения окалины и тормозит процесс наводороживания металла. Ионы брома и йода, добавленные в растворы кислот, способствуют пассивации железа и замедлению процесса его растворения.

Наиболее сильное ингибирующее действие оказывают органические соединения — смолы, алифатические амины, производные ароматических и гетероциклических соединений, спирты, сульфидные щелочи. Предполагается, что торможение процесса растворения металла происходит в результате адсорбции ингибитора на его поверхности.

Отечественная промышленность выпускает целый ряд органических ингибиторов, представляющих собой продукты конденсации органических соединений. Эффективность их действия зависит от температуры и состава травильного раствора. Для соляной кислоты рекомендуются: катапин, продукты конденсации анилина с уротропином ПБ-5, бензиламина с уротропином БА-6, И-1-А, И-1-В, КПИ; для серной кислоты — смесь хинолиновых оснований — ЧМ, БА-6, катапин, уротропин. С увеличением концентрации соляной кислоты возрастает ингибирующее действие добавок БА-6, КПИ, катапина.

Применение добавок ингибиторов в травильные растворы позволяет улучшить качество обработки поверхности изделий, снизить расход кислоты, уменьшить съем металла. Однако адсорбционная природа ингибирующего действия добавок сказывается на состоянии поверхности металла, что может повлиять на качество гальванических покрытий. Как показали исследования, при травлении стали 65Г и Ст10 в солянокислом растворе увеличение концентрации кислоты повышает прочность сцепления цинкового покрытия с основой. Введение в раствор 5 г/л катапина, независимо от концентрации кислоты, снижает прочность сцепления покрытия со сталью. Добавка ингибитора И-1-В к солянокислому раствору, в котором обрабатывали сталь, также приводит к снижению прочности сцепления ее с нанесенным в дальнейшем никелевым покрытием. Причиной этих явлений, по-видимому, является то, что осаждение гальванических покрытий происходит на поверхность металла, частично покрытую адсорбционным слоем ингибитора. Это обстоятельство необходимо учитывать и принимать меры для удаления такого слоя, что может быть достигнуто активированием поверхности металла в соответствующих растворах.

Помимо серной и соляной кислот для травления черных металлов используют фосфорную и плавиковую кислоты. Первую из них расходуют, главным образом, при подготовке деталей перед нанесением лакокрасочных покрытий. В этом случае для удаления тонкого слоя ржавчины применяют 2%-ный раствор ортофосфорной кислоты H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, которую в дальнейшем будем называть фосфорной кислотой, нагретый до 70—80°C. После обработки детали сушат, не промывая в воде. Образующийся на поверхности металла тонкий слой фосфатов служит своеобразным грунтом, способствующим повышению прочности сцепления лакокрасочного покрытия с основой. Если изделие покрыто значительным слоем ржавчины, для травления используют 15%-ный раствор фосфорной кислоты при 40—50°C, после чего промывают в воде, затем погружают в 0,5—1,0%-ный раствор этой же кислоты и сушат, как в предыдущем случае.

Плавиковая кислота — одна из немногих кислот, способных растворять кремнезем, который может остаться на поверхности деталей, изготавливаемых литьем, поэтому ее применяют в качестве добавки в кислотные растворы для травления отливок. При обработке чугуна применяют 2%-ный раствор плавиковой кислоты или смесь, содержащую 1 часть плавиковой и 3 части серной кислот.

Для бескислотного травления пригодна расплавленная едкая щелочь, в которую добавляют 1—2% гидрида натрия. Окислы железа, никеля, меди, кобальта восстанавливаются гидридом натрия до металла, а трехокись хрома — до закиси, причем на очищаемую поверхность рабочая среда не оказывает влияния и наводороживания

стали не происходит. Этот процесс особенно эффективно при очистке точных стальных изделий и деталей из нержавеющей, быстрорежущей стали, чугуна. Другим вариантом бескислотного травления черных металлов является электролитическая обработка в расплавленной щелочи при низком напряжении постоянного тока.

Для электролитического травления в водных растворах с применением постоянного или переменного тока используют разбавленные кислотные электролиты. В процессе катодной обработки происходит восстановление пленки окислов. При анодном травлении в результате химического и электрохимического растворения металла нарушается связь окислов с основой. В обоих случаях выделяющиеся на электроде пузырьки газа интенсифицируют процесс разрушения и отрыва пленки от металла.

Катодное травление целесообразно применять для полированных деталей, а также для деталей с низкой шероховатостью поверхности, так как оно не сопровождается растворением металла. Наряду с этим следует учитывать, что сопутствующее катодному травлению интенсивное выделение водорода, который частично сорбируется металлом и ухудшает его механические свойства, делает процесс мало приемлемым для обработки упругих элементов аппаратуры. Необходимо отметить что при катодной обработке стали сорбируется меньше водорода, чем при ее химическом травлении.

Анодное травление может несколько улучшить некоторые свойства металлов за счет удаления поверхностного слоя, обогащенного внутренними дефектами и концентраторами напряжений, но неравномерность процесса анодного растворения в случае использования обычных кислотных электролитов может привести к перетравливанию и изменению размеров деталей.

Электрохимический способ травления, по сравнению с химическим, уменьшает продолжительность очистки, снижает расход материалов, позволяет обрабатывать стали различного состава, в том числе легированные, трудно поддающиеся химическому травлению. К недостаткам электрохимического способа относится низкая рассеивающая способность электролитов, что затрудняет обработку сильно профилированных деталей.

Травлением деталей из цветных металлов часто преследуют цель не только удалить продукты коррозии, но и получить определенную фактуру, матовую или блестящую поверхность. Для этой цели используют азотную, сериую, соляную или фосфорную кислоты, к которым иногда добавляют неорганические соли или органические соединения, способствующие получению требуемой фактуры.

При выполнении операции травления следует обращать внимание на тщательность проведения последующих операций технологического процесса. Необходимо быстро промывать детали в проточной воде, полностью удаляя следы травильного раствора. Не следует длительное время выдерживать их в воде, так как это приводит в дальнейшем к понижению прочности сцепления гальванических покрытий с основой. Если травление является существенной операцией технологического процесса, для предотвращения коррозии стальных деталей в промывную воду можно добавлять 0,05—0,1% моноэтаноламина. При непродолжительном складском хранении детали после травления и промывки необходимо пассивировать, как это было указано выше для операций обезжиривания.

Своеобразным видом травления является активирование металла непосредственно перед нанесением на него гальванических покрытий. Оно преследует цель удаления с поверхности деталей тонких окисных пленок и вывешивания в некоторой мере структуры металла, что благоприятно сказывается на прочности сцепления покрытия с основой.

Процессы травления находят применение для специальных целей — получения рельефных изображений, так называемого химического или электрохимического фрезерования, когда операция механической обработки заменяется вытравливанием металла по заданному контуру, размерного травления резьбовых крепежных деталей перед осаждением на них металлических покрытий и в некоторых других случаях.

## 19. Травление черных металлов

**Химическое травление углеродистых сталей.** В табл. 14 приведены составы растворов для химического травления углеродистых низко- и среднелегированных сталей и чугуна. В сернических растворах температура может быть повышена до 50—70°C, в солянокислых — не выше, чем до 40—45°C. Продолжительность обработки деталей зависит от толщины и сплошности окарины на их поверхности. Повышение температуры и перемешивание раствора интенсифицирует процесс травления.

Растворы № 1, 2 применяют для травления деталей с толстым слоем окарины, № 3, 6 — с незначительным слоем окислов. В растворах № 2, 4 можно помимо стали обрабатывать чугун, причем последний из них используют в автоматических линиях. В растворах № 5, 7 обрабатывают детали с низкой шероховатостью поверхности. Сравнительно меньшее количество травильного шлама образуется при использовании растворов № 1 и 5. Если требуется предотвратить перетравливание металла, используют раствор № 6. В тех случаях, когда растворы содержат синтанол, наряду с травлением происходит заметное обезжиривание поверхности деталей. Синтанол ДС-10 можно заменить сульфололом НП-3.

Для улучшения качества травления высокоуглеродистых сталей предложено<sup>1</sup> в раствор, содержащий 50—80 г/л соляной кислоты, добавлять 180—200 г/л хлористого натрия и 5—10 г/л хлористого цинка. Высокоуглеродистые хромистые стали рекомендуется обрабатывать в растворе<sup>2</sup> следующего состава: соляная кислота (плотность 1,19) — 300—500 мл, азотная кислота (плотность 1,36) — 50—150 мл, азотнокислый натрий — 20—40 г/л, персульфат аммония — 10—30 г/л, перекись водорода — 20—50 мл/л.

Травление стальных деталей часто сопровождается выделением на их поверхности шлама, который не растворяется в серной и соляной кислотах. Для его снятия применяют химическую обработку при комнатной температуре в смеси серной и азотной кислот, взятых в объемном соотношении 1:1, или в растворе, содержащем (в г/л): серную кислоту — 30—40, хромовый ангидрид — 70—80, хлористый натрий — 2—4. Хорошие результаты достигаются анодной обработкой при плотности тока 5—10 А/дм<sup>2</sup> и напряжении

<sup>1</sup> А. с. 592834 (СССР).

<sup>2</sup> А. с. 505750 (СССР).

Таблица 14. Составы растворов для химического травления углеродистых сталей, г/л

Компонент раствора	Номер раствора						
	1	2	3	4	5	6	7
Серная кислота	350—400	150—200	80—100	150—200	150—200	150—200	200—220
Соляная »	—	—	150—200	60—80	—	—	—
Натрий хлористый	—	—	—	—	—	—	—
Иодистый калий	—	—	—	—	—	—	—
Каталин К-И-1	3—5	3—5	3—5	—	—	0,5—1,0	5—7
Уротропин	3—5	3—5	—	40—50	40—50	9—10	—
Синтанол	3—5	3—5	—	3—5	—	—	—

Таблица 15. Составы растворов для химического травления высоколегированных сталей, г/л

Компонент раствора	Номер раствора						
	1	2	3	4	5	6	7
Соляная кислота	350—400	90—100	200—250	—	180—200	70—90	—
Серная »	80—90	150—200	—	80—100	—	350—400	—
Азотная »	—	30—50	—	40—50	—	70—90	—
Плавиковая	—	—	—	—	20—25	—	—
Фтористый натрий	—	—	—	10—15	25—30	—	—
Азотнокислый	—	—	—	—	—	—	200—250
Хлористый	—	—	—	—	—	—	400—500
Едкий натр	—	—	—	—	—	—	—
Уротропин	—	—	15—20	—	—	—	—

до 12 В в горячем растворе, содержащем 80—100 г/л едкого натра, или в растворе, используемом для электрохимического обезжиривания.

Для получения светлой поверхности стали применяется обработка последовательно в двух растворах с промежуточной промывкой в проточной воде: раствор № 1 (г/л) — хлорное железо — 150—170, соляная кислота — 140—150, ОП-7 — 2—3; раствор № 2 — фтористый аммоний — 140—150 г/л, мочевины — 40—50 г/л, перекись водорода (30%-ная) — 350—370 мл/л.

Длительность эксплуатации травильных растворов определяется содержанием в них основного компонента и солей железа. Сернистые растворы меняют, когда концентрация кислоты понижается до 50% от первоначально взятой, а содержание солей железа достигает 20—25%. Солянокислые растворы меняют, когда концентрация кислоты в них понизится до 5%, а содержание солей железа достигнет 25—30%.

Травление чугуна и кремнистых сталей, на поверхности которых имеются включения формовочного песка и шлаков, ведут в смеси, содержащей 30 г/л соляной и 25 г/л плавиковой кислот.

По сравнению с сернистыми и солянокислыми менее агрессивными являются растворы фосфорной кислоты. В них не требуется добавлять ингибиторы коррозии, так как перетравливания металла почти не происходит. Удаление окисных пленок с поверхности деталей можно проводить в растворе, содержащем 200 г/л хромового ангидрида и 50 г/л ортофосфорной кислоты при 70—80°C. После обработки в фосфорнокислых растворах на поверхности деталей может остаться белый налет фосфатов, который замедляет коррозию металла. Этот налет не препятствует последующему фосфатированию или нанесению лакокрасочных покрытий. Перед нанесением гальванических покрытий фосфатный слой должен быть удален в растворе для активирования металла.

Химическое травление легированных сталей. Повышенная стойкость против коррозии высоколегированных и в особенности нержавеющей сталей требует применения для их травления более активных растворов, чем соляная или серная кислоты и их смеси. Особенно трудно удаляется термическая окалина. В ряде случаев целесообразно проводить обработку в две стадии, например: в 20%-ной соляной или серной кислоте разрыхлить основной слой окислов и закончить травление обработкой в 20—40%-ной азотной кислоте. Толстый слой окислов сравнительно быстро может быть удален при температуре 350—450°C в следующем расплаве (массовая доля, %): едкий натр — 75—85 и азотнокислый натрий — 20—25. Окончательное снятие окислов, как и в предыдущем случае, проводят последующей обработкой в 15—20%-ной азотной кислоте.

Удаления окисных пленок с поверхности нержавеющей и быстрорежущей стали, а также титана, можно достигнуть используя при температуре 370—380°C расплав едкого натра, в который введено 1,5—2% гидрида натрия.

Составы растворов, приведенные в табл. 15, используются для травления высоколегированных сталей различных марок. В растворах № 1, 4 обрабатывают хромоникелевые стали; в растворе № 2 — стали типов 12Х18Н9Т, 12Х21Н5Т, 08Х17Н5М3, детали, имеющие сварные швы; в растворе № 5 — термообработанные детали из нержавеющей стали. Разрыхление плотно приставшей окислы

проводят в растворе № 7. Стали типов 20X13 и 40X13 сначала обрабатывают в растворе № 6 и затем без промывки — в растворе № 3. Раствор № 5 можно использовать для травления молибденовых сталей и титановых сплавов типа ВТ1. Температура растворов № 1—6 комнатная, но может быть повышена до 35—40°C, раствора № 7 — 100—140°C.

Для травления сплава типа 36ХНТЮ после его термообработки рекомендуется раствор, содержащий 150—250 г/л азотной кислоты и 75—100 г/л фторид-бифторид аммония.

**Электрохимическое травление углеродистых и легированных сталей.** Для того чтобы избежать наводороживания металла, обработку деталей ведут на аноде или с применением реверсирования постоянного тока. Катодное травление используют только для снятия тонких окисных пленок, когда продолжительность обработки мала, или в специальных условиях, когда на очищенных от окислов участках металла сразу же осаждается тонкий слой свинца, предотвращающий сорбцию металлом выделяющегося при катодной поляризации водорода. Последний способ в настоящее время мало используется, хотя целесообразность его применения не отпала. Эффективным является применение для травления легированных сталей переменного тока.

Так, травление стали 12X18H10T в растворе, содержащем (массовая доля, %): азотную кислоту — 8—12, плавиковую кислоту — 1,5—2 при плотности тока — 8—10 а/дм<sup>2</sup> и комнатной температуре происходит в пять—восемь раз быстрее, чем химическое травление в этом же растворе.

Для электрохимического травления используют в основном серную, реже — соляную кислоты. При обработке сильно окисленной поверхности металла целесообразно применять подкисленные растворы солей железа, так как в них благодаря деполяризующему действию сернистого железа не происходит пассивирования металла.

Из приведенных в табл. 16 составов растворов № 1, 3, 4, 7 используют для травления углеродистых, раствор № 6 — среднелегированных, раствор № 5 — высоколегированных и раствор № 2 — кремнистых сталей. Растворы № 3, 4 пригодны для обработки деталей простой конфигурации при анодной плотности тока 3—5 А/дм<sup>2</sup>. В первом из них предпочтительно обрабатывать детали, поверхность которых покрыта тонким слоем окислов.

Раствор № 7 можно использовать для катодного травления деталей, не допускающих наводороживания. В этом случае в качестве анода используют кремнистый чугун или сплав свинца с 10—15% сурьмы. Если анодом служит чугун, то одновременно на анодную штангу завешивают полоски свинца, составляющие 2—3% общей площади анодов. При электролизе на освобождаемых от окалины участках металла осаждается свинец. В дальнейшем пленка свинца удаляется анодной обработкой деталей в течение 5—10 мин в растворе, содержащем 80 г/л едкого натра и 30 г/л фосфорнокислого натрия при температуре 50—60°C и анодной плотности тока 5—7 А/дм<sup>2</sup>.

Электролиз в растворе № 7 с осаждением на катоде свинца ведут до накопления в нем 15—20 г/л ионов трехвалентного железа. Превышение этой концентрации препятствует выделению свинца на поверхности обрабатываемых деталей.

Анодное травление в электролитах № 1—6 проводят при температуре 18—40°C и плотности тока 3—7 А/дм<sup>2</sup>.

Удаление продуктов коррозии с листового холоднокатаного материала можно проводить с использованном переменного тока плотностью 3—5 А/дм<sup>2</sup> в разбавленных растворах серной или соляной кислоты. Перед осаждением гальванических покрытий на детали из холоднокатаной стали 08КП и 08Ю применяют раствор, содержащий 70—100 г/л серной кислоты и 50—60 г/л сернистого железа при температуре 50—70°C с чередующейся анодной и катодной поляризацией, продолжительностью 2—3 с каждый период, суммарное время обработки 15—20 с [13]. Для улучшения параметров шероховатости поверхности в процессе травления предложить следующий электролит (г/л): сернистый натрий — 70—80, нитрат натрия — 45—55, уксуснокислый натрий — 20—30. Электролиз ведут при плотности тока 60—70 А/дм<sup>2</sup> и температуре 20—28°C.

Для обработки различных стальных деталей, в том числе упругих элементов аппаратуры, чувствительных к наводороживанию металла, целесообразно использовать разработанный в промышленности способ электрохимической очистки в водном щелочном растворе. Электролит содержит 100 г/л едкого натра и 20 г/л триэтианоламина. Электролиз ведут при комнатной температуре, плотности тока 3—6 А/дм<sup>2</sup>, напряжении 6—12 В и реверсировании постоянного тока; соотношение продолжительности катодного и анодного периодов 4:4. Детали выгружают из ванны в

Таблица 16. Составы растворов для электрохимического травления углеродистых и легированных сталей, г/л

Компонент раствора	Номер раствора						
	1	2	3	4	5	6	7
Серная кислота	200—250	—	—	10—20	80—100	15—20	45—50
Соляная	—	300—350	8—10	—	—	35—40	25—30
Сернистое железо закисное (кристаллогидрат)	—	—	—	200—250	—	—	—
Хлористый натрий	1—2	—	40—50	40—50	—	—	15—20
Хлористое железо (кристаллогидрат)	20—25	—	140—160	—	10—15	—	—
Плавиковая кислота	—	0,2—0,3	—	—	—	—	—

анодный период. Повышение плотности тока до 15—25 А/дм<sup>2</sup> и температуры раствора до 50—70 °С интенсифицирует процесс. Противоположным электродом служит сталь типа армо-железа.

Повышение концентрации щелочи в указанном электролите несколько улучшает качество очистки. Увеличение концентрации триэтанолamina ведет к образованию пены, чего следует избегать ввиду возможного накопления в ней выделяющихся при электролизе водорода и кислорода. Электролит можно использовать до тех пор, пока концентрация компонентов в нем будет не ниже 60% первоначальной.

При накоплении солей железа в виде шлама, их отделяют отстаиванием и декантацией. Если примеси железа и цинка накапливаются в растворе, проводят его регенерацию, осаждавая металл на катоде при плотности тока 3—4 А/дм<sup>2</sup>. В тех случаях, когда обработке подвергаются детали с толстым, прочно приставшим слоем окислы и требуется уменьшить продолжительность процесса или применить низкую плотность тока, рекомендуется добавить в электролит 20—30 г/л цианистого натрия.

Указанный процесс позволяет достигнуть высокого качества очистки поверхности деталей, предотвращая перетравливание металла. При его выполнении необходимо принимать меры по очистке сточных вод от триэтанолamina и цианидов.

Щелочи могут использоваться не только в водном растворе, но и в виде расплава. В смеси, содержащей 70—80% едкого натра и 20—30% едкого кали, при 350—450 °С и плотности тока 5—10 А/дм<sup>2</sup> хорошо удаляются термическая окислы и литейные шлаки. Электролиз ведут с реверсированием постоянного тока. Продолжительность катодного и анодного периодов одинаковая (3—5 мин) при общей длительности процесса 15—30 мин. Для обработки чугунного литья используют расплав, содержащий около 93% едкого натра и 7% хлористого натрия при температуре 420—480 °С и плотности тока 5—8 А/дм<sup>2</sup>, продолжительность катодного и анодного периодов 5:5 мин. Обработку деталей начинают на катоде.

## 20. Травление цветных металлов

**Медь и ее сплавы.** В зависимости от состава сплавов и способа, которым были изготовлены материал или детали из него (литьем, прокаткой, механической обработкой на станках) травление проводят в растворах на основе серной, азотной, соляной или фосфорной кислот.

Окислы большой толщины, образовавшаяся в процессе волочения, прокатки или термообработки, может быть удалена в концентрированной серной кислоте. При этом в отсутствие окислителей, растворяются окислы и почти не затрагивается металл. Присутствие в растворе даже небольшого количества нитратов или хроматов активизирует процесс растворения металла.

Травление деталей из медных сплавов обычно ведут в две стадии: сначала удаляют основной, плотно приставший слой, например, в растворе, содержащем 200—250 г/л серной кислоты при температуре 50—80 °С; затем обрабатывают в смеси серной и азотной кислот с добавкой небольшого количества хлоридов, что способствует получению светлой, полублестящей поверхности.

Повышение температуры или концентрации в растворе азотной кислоты при травлении латуни приводит к преимущественному растворению меди и растравливанию поверхности, а повышение концентрации хлоридов — к интенсификации растворения цинка и появлению на деталях коричневых пятен. Такие смеси кислот пригодны, главным образом, для обработки латуни; бронзы, в особенности бериллиевая, травятся в них неравномерно.

Приведенные в табл. 17 составы растворов предназначены для обработки наиболее распространенных медных сплавов. Раствор № 1 используют для матового, раствор № 2 — блестящего травления меди и латуни. Пружинные, тонкостенные и резьбовые детали обрабатывают в растворе № 5; детали, паянные мягкими припоями — в растворе № 6; предварительное травление отливок проводят в растворе № 7. Детали 1-, 2-, 3-го классов точности целесообразно травить последовательно в растворах № 3 и 4 без промежуточной промывки их в воде. Азотнокислый натрий может быть заменен азотнокислым аммонием. Такая схема процесса имеет преимущество перед обычно применяемым травлением сначала в концентрированной серной, а затем азотной кислотой. В последнем случае процесс идет с большой скоростью и даже незначительная задержка с выгрузкой деталей из ванны или последующей их промывки может привести к перетрав-

Таблица 17. Составы растворов для травления меди и ее сплавов, г/л

Компонент раствора	Номер раствора						
	1	2	3	4	5	6	7
Серная кислота	600—650	500—550	—	—	750—800	—	—
Азотная	300—350	650—750	—	—	90—100	—	700—800
Соляная	4—5	—	—	—	2—4	—	—
Фосфорная	—	5—10	—	—	—	800—850	—
Хлористый натрий	—	—	—	1400—1700	—	240—260	15—20
Уксусная кислота	—	—	—	—	—	—	—
Азотнокислый натрий	—	—	—	—	—	—	—
Плавиковая кислота	—	—	600—800	—	—	—	900—1000
Перекись водорода (30 %-ная)	—	—	—	—	—	90—100	—

ливание поверхности металла. Эта опасность возрастает при работе на автоматических линиях, когда подъем, перенос и погружение деталей в последующую ванну не могут быть выполнены достаточно быстро. Кроме того травление в смеси кислот сопровождается обильным выделением токсичных окислов азота.

Эти неприятности устраняются при последовательной обработке деталей в течение 10—30 с сначала в концентрированном растворе нитратов, а затем — в растворе фосфорной кислоты. Так как кислота реагирует лишь с небольшим количеством нитратов, оставшихся на поверхности деталей, то травление прекращается уже через несколько секунд и тем самым уменьшается или даже исключается возможность перетравливания металла. При использовании фосфорной кислоты получается наименьший съем металла, что особенно важно для деталей высокой точности. Вместо фосфорной можно использовать серную или соляную кислоту. В первом случае получается светлая, полублестящая поверхность. Наименьший съем металла (около 1 мкм) достигается при обработке в соляной кислоте, но поверхность при этом становится матовой, неоднородной. Серная кислота дает наибольший съем — 1,5—3 мкм.

Снятие термической окислыны на сплавах БрОФ, БрБ, БрАЖМц можно вести при 135—145°C в смеси, содержащей 450—600 г/л едкого натра и 100—200 г/л азотнокислого натрия или азотнокислого аммония с последующей обработкой в течение 0,5—1,0 мин в концентрированной соляной кислоте. Для осветления БрКМц применяют раствор, в состав которого входит 25—35 г/л азотной и 8—12 г/л плавиковой кислот; другие бронзы осветляют в смеси, содержащей по 30—40 г/л хромового ангидрида и серной кислоты. Для травления бронзы, особенно бериллиевой, можно рекомендовать раствор, в состав которого входит 30—35 г/л серной кислоты, 35—40 мл/л перекиси водорода и 30—35 г/л уксусной кислоты. После снятия основного слоя окислыны для осветления поверхности детали обрабатывают в растворе, содержащем 130—140 г/л серной кислоты и 320—360 г/л хромового ангидрида. Предварительное травление термообработанной бериллиевой бронзы можно проводить также в растворе, содержащем 80—100 г/л серной кислоты и 30—50 г/л бифторида аммония при 40—50°C.

Матовую поверхность меди и некоторых ее сплавов получают обработкой их в смеси, имеющей следующий состав (г/л): азотная кислота — 300, серная кислота — 200, хлористый натрий — 2, серноокислый цинк — 2.

Эффективным ингибитором травления меди является бензотриазол. Его можно использовать в качестве добавки в растворы для травления печатных плат с целью защиты боковых поверхностей. Такого типа раствор имеет состав (г/л): хлорное железо — 40—42, соляная кислота — 30, бензотриазол — 1.

**Алюминий и его сплавы.** Алюминий и его деформируемые сплавы травят в 5—10%-ном растворе едкой щелочи при температуре 20—70°C. С целью уменьшения выделения в окружающую атмосферу образующихся при травлении газов в раствор добавляют 0,5 г/л сульфанола. Для предотвращения накопления плотного осадка алюминатов в раствор добавляют 2 г/л глюконата натрия, что повышает растворимость солей. При корректировании щелочного травильного раствора глюконат натрия вводят из расчета 4% от количества добавляемого едкого натра.

Для детали 1-, 2-, 3-го классов точности целесообразно использовать раствор серной кислоты (240—260 г/л) при температуре 70—80°C. Хорошие результаты дает также щелочной раствор (50—60 г/л NaOH), в который добавлено 9—10 г/л агар-агара, играющего роль ингибитора, при температуре 60—70°C.

Ингибирующее влияние на растворение алюминия в 1н растворе едкого кали оказывает добавка 15 г/л хлористого кальция. Совместное введение ее и некоторых органических соединений способствует торможению процесса коррозии алюминия.

Травление литейных сплавов ведут в растворе, содержащем 650—700 г/л азотной и 120—140 г/л плавиковой кислот при комнатной температуре. По данным работы [4], для лучшего удаления выделяющихся при травлении легирующих добавок (никеля, кремния, титана) и примесей соотношение азотной и плавиковой кислот следует подбирать с учетом состава сплава. Так, для сплава АЛ12 оно должно быть 3 : 1, для сплава АК7 — 10 : 1, для сплава Д16 — 25 : 1. Более мягкая обработка достигается в случае использования гидрата окиси кальция (4—6 г/л) при температуре 70—75°C.

Раствор для травления деталей, имеющих точечную сварку содержит 80—100 г/л фосфорной кислоты и 4—6 г/л куперфторида калия. Обработку в нем ведут при комнатной температуре.

Осветление поверхности деталей после травления ведут в следующих растворах: для алюминия и его деформируемых сплавов — 300—400 г/л азотной кислоты; для литейных сплавов — 740—760 г/л азотной и 100—120 г/л плавиковой кислот; для деталей, имеющих сварные швы, — 90—100 г/л хромового ангидрида и 8—10 г/л серной кислоты. Температура во всех случаях комнатная.

Травлением алюминиевых деталей часто не только очищают поверхность от продуктов коррозии, но и придают ей определенную фактуру, которая скажется при дальнейшей обработке (анодировании, осаждении гальванических покрытий).

Растворы для получения серебристой, матовой поверхности алюминия и деформируемых сплавов содержат (г/л): раствор № 1 — едкий натр — 130—150, хлористый натрий — 25—35; раствор № 2 — едкий натр — 130—150, двуххромовокислый калий 20—25, хлористый натрий — до насыщения. Температура обработки в них деталей 60—70°C.

Сходная структура поверхности алюминия, но с более развитым микрорельефом получается при травлении переменным током напряжением около 30 В, плотности тока 2—30 А/дм<sup>2</sup> в растворе, содержащем 10—20 г/л соляной кислоты. На получаемой таким способом поверхности внешние ее дефекты (мелкие риски, штрихи, раковины) становятся менее заметными. Добавка в электролит 4—5 г/л ортофосфорной кислоты улучшает качество поверхности.

Развитый микрорельеф поверхности металла способствует более надежному сцеплению гальванических покрытий с основой. Для его получения рекомендуется использовать раствор, содержащий 340 г/л серной кислоты и 150 г/л хлористого натрия при температуре 65—70°C. Замена серной кислоты лимонной в количестве 200 г/л приводит к возрастанию съема металла. Увеличение шероховатости поверхности алюминия может быть достигнуто в растворе состава<sup>1</sup>

<sup>1</sup> А. с. 662571 (СССР)



соляная кислота — 120—180, хлористая медь — 2—5, хлористый аммоний — 4—5.

Повышенная скорость травления алюминия характерна для следующего раствора<sup>1</sup> (объемная доля, %): фосфорная кислота — 4, азотная кислота — 1,5, хлорное железо — 2, соляная кислота — 3,5, уксусная кислота — 8.

На одном из заводов перед анодированием алюминиевых деталей успешно применяется их матирование в растворе, содержащем 50—200 г/л смеси, состоящей (массовая доля, %): азотнокислый натрий — 56, едкий натр — 44. Продолжительность обработки при 40—60°C составляет от 1 до 10 мин. Легкое перемешивание раствора предотвращает появление на металле следов выделения газовых пузырьков в виде вертикальных полос. Раствор при работе корректируют добавлением исходных компонентов до накопления в нем 130—150 г/л Al, после чего он должен быть заменен новым. Следует отметить, что указанное содержание алюминия является предельно допустимым для большинства щелочных растворов, используемых при травлении металла.

Сходный эффект матирования поверхности может быть достигнут при использовании следующего раствора (массовая доля, %): едкий натр — 8—13, азотнокислый натрий — 7—12, азотнокислый натрий — 5—9, тринатрийфосфат — 5—8, сернокислая медь — 0,05—0,2. Матирование проводится при температуре 60—90°C.

Для получения светлой, мелкозернистой поверхности алюминия, сходной с получаемой сатинированием, предложено проводить травление в течение 0,5—1,0 мин при 70—80°C в следующем растворе<sup>2</sup> (г/л): едкий натр — 160—260, азотнокислый натрий — 160—260, азотистокислый натрий — 120—160, тринатрийфосфат — 50—80, декстрин — 0,5—1,0. Качество обработки повышается при добавке в раствор 40—50 г/л глюконата натрия.

Продолжительность травления алюминия и его сплавов с целью получения определенной фактуры поверхности определяется требованиями к внешнему виду деталей с учетом их последующей обработки и составляет от 0,5 до 20 мин.

Титан, молибден, никель, магний. Для удаления термической окалины с поверхности титана и его сплавов типов ВТ1, ВТ5Д его обрабатывают в расплаве, содержащем (массовая доля, %): едкий натр — 80 и азотнокислый натрий — 20 при температуре 420—460°C. Понижения температуры до 320—300°C можно достигнуть, используя смеси, содержащие равные количества едкого натра и едкого кали. Разрыхление окалины, образовавшейся на поверхности металла при температуре ниже 700°C, происходит при 135—145°C в смеси, содержащей 500—700 г/л едкого натра и 150—250 г/л азотнокислого натрия. Разрыхленную окалину удаляют при комнатной температуре в растворах, имеющих состав (г/л): серная кислота — 80—100, азотная кислота — 130—140, плавиковая кислота — 40—60 или азотная кислота — 50—60, соляная кислота — 130—160, хлористый натрий — 40—50. Для снятия травильного шлама можно использовать раствор, в состав которого входит 100—200 г/л азотной и 10—30 г/л плавиковой кислот.

<sup>1</sup> А. С. 566866 (СССР).

<sup>2</sup> А. с. 569586 (СССР).

Травление титана можно проводить анодной обработкой его в электролитах следующих составов (г/л): раствор № 1 — фосфорная кислота — 450—500, азотная кислота — 30—40, фтористый натрий — 40—60; раствор № 2 — серная кислота — 180—200, фтористый натрий — 45—50. В обоих случаях электролиз ведут при анодной плотности тока 1,0—1,5 А/дм<sup>2</sup>, температуре 50—70°C; напряжение на ванне 15—20 В, а при снятии толстого слоя окалины — до 60 В.

Операция травления приобретает особенно большое значение при осаждении на титан гальванических покрытий. В этом случае необходимо удалить тонкие окисные пленки, которые препятствуют прочному сцеплению покрытия с основой. Составы применяемых для этого растворов и режимы работы приведены в ГОСТ 9.047—75.

Пленку окислов с поверхности молибдена можно удалить водородом (30%-ной) и 750 мл воды, в который добавляют 10 г/л едкого натра. Для подготовки деталей перед пайкой или нанесением гальванических покрытий используют раствор следующего состава (массовая доля, %): серная кислота — 16—18, плавиковая кислота — 5—6, вода — 78—79. Продолжительность обработки при комнатной температуре 5—10 мин. Раствор для активации поверхности молибдена содержит равное объемное количество аммиака (25%-ного) и перекиси водорода (30%-ной).

Травление вольфрама можно вести в следующем растворе (массовая доля, %): едкое кали — 5, желтая кровяная соль — 25, вода — 70. Травление идет при комнатной температуре. Для этой же цели используют обработку переменным током в 5—15%-ном растворе едкого натра.

Для очистки поверхности титанмолибденовых сплавов предложен раствор<sup>1</sup> (г/л): азотная кислота — 100—400, хлористый калий — 20—150, плавиковая кислота — 15—85.

Тонкую очистку поверхности никеля, вольфрама, кобальта проводят в трех смесях муравьиной кислоты, воды, перекиси водорода, взятых, соответственно, в следующих количествах (объемная доля, %): смесь № 1 — 45, 45, 10; смесь № 2 — 10, 45, 45; смесь № 3 — 5, 35, 60. Сплавы с заданным коэффициентом расширения (ковар, инвар, суперинвар) при наличии на поверхности деталей плотного слоя окалины травят в концентрированной соляной кислоте или в смеси соляной, серной кислот и воды, взятых в соотношении по объему 2 : 1 : 2 при комнатной температуре. Указанные сплавы можно травить также в концентрированной соляной кислоте с добавкой 40 г/л уротропина при температуре 40—50°C. Для осветления этих сплавов используют разбавленную соляную кислоту (50—100 г/л), а для кобальта, имеющего спай со стеклом — смесь азотной и серной кислот в объемном соотношении 2 : 1.

При травлении магния и его деформируемых сплавов применяется разбавленная азотная кислота (20—50 г/л), литейных сплавов — два раствора следующих составов (г/л): раствор № 1 — азотная кислота — 90—110, серная кислота — 4—6, двуххромовокислый калий — 5—7; раствор № 2 — фосфорная кислота — 50—60, хромовый ангидрид — 15—25. Травильный шлам снимают в растворе (г/л): серная кислота — 80—85, азотная кислота — 25—30, соляная кислота — 1,0—1,5, хромовый ангидрид — 50—60. Серый налет на

<sup>1</sup> А. с. 578366 (СССР).

поверхности деталей, который иногда остается после травления, удаляют разбавленной плавиковой кислотой. Во всех указанных выше случаях процесс травления ведут при температуре 18—30°C.

## 21. Активирование и пассивирование перед осаждением гальванических покрытий

Непосредственно перед осаждением покрытий на детали проводится активирование поверхности металла с целью удаления тонких окисных пленок. Стальные детали выдерживают в течение 0,1—1,0 мин в 5—10%-ном растворе соляной или серной кислоты, а также в смеси, содержащей по 30—50 г/л каждой из кислот. Высокотемпературные стали можно активировать в 0,5—1,0%-ном растворе плавиковой кислоты. В случае осаждения на детали из стали 20 медного покрытия из пирофосфатного электролита активирование следует проводить в растворе следующего состава концентрированных кислот (объемная доля, %): азотная — 40, фосфорная — 40, серная — 20.

Особенно большое внимание необходимо обратить на активирование хромоникелевых сталей типа 12Х18Н9Т, характеризующихся высокой пассивностью. Перед серебрением в роданистожелезисто-синеродистом электролите можно проводить химическое активирование в течение 20—30 мин в смеси, состоящей из 100 г/л азотной кислоты и 30 г/л бифторида калия, с последующим катодным активированием в растворе, содержащем 80 г/л хлористого никеля и 40 г/л соляной кислоты. Удовлетворительные результаты дает также анодное активирование в 10—15%-ной серной кислоте в течение 1—2 мин при плотности тока 10—15 А/дм<sup>2</sup>. Для подготовки к осаждению покрытий на нержавеющую сталь и никелевые сплавы, например пермаллой, их можно активировать катодной обработкой в 15—20%-ной соляной кислоте в течение 20—30 с при плотности тока 8—10 А/дм<sup>2</sup>.

Представляет интерес процесс катодного активирования с одновременным осаждением на детали тонкого слоя металла. Хорошие результаты были получены при такой обработке деталей из углеродистой стали перед пирофосфатным меднением. Электролит содержал 250 г/л сернистого никеля и 50 г/л серной кислоты. Катодная плотность тока 8—10 А/дм<sup>2</sup>, продолжительность обработки 20—30 с.

Детали из сплава 40ХНЮ перед их никелированием рекомендуются после обычного активирования в разбавленной соляной кислоте обрабатывать в течение 1—2 мин в смеси<sup>1</sup> (мл): уксусная кислота — 650, азотная кислота (концентрированная) — 300, соляная кислота — 5 и краситель метиленовый голубой — 1 г.

Для активирования поверхности деталей из меди и ее сплавов можно использовать 0,5—1,0%-ный раствор соляной кислоты, или смесь, состоящую из 30—50 г/л соляной и 30—50 г/л серной кислоты. Наиболее положительные результаты дает предварительная обработка в 3—6%-ном растворе цианистого калия, но ее можно использовать лишь в тех случаях, когда в дальнейшем на детали наносят покрытие из цианистого электролита.

Активация серебра или серебряных покрытий перед палладированием или родированием проводят в 0,5—1,0%-ном растворе серной кислоты. Повышение концентрации кислоты до 2—3% позволяет использовать такой раствор для активации деталей из алюминия, изготовленных по 1-, 2-, 3-му классам точности.

Хотя удаление тонких окисных пленок с поверхности деталей считается обязательной и необходимой операцией, способствующей прочному сцеплению покрытия с основным металлом, в последнее время исследования показали, что эта цель может быть достигнута иным путем. Иногда на металле формируются тонкие окисные пленки определенной структуры и пористости, присутствие которых не только не ухудшает, но и повышает прочность сцепления покрытия с основой, снижает пористость осадков. Примером эффективности такой обработки являются процессы осаждения металлических покрытий на предварительно окисленный алюминий. Стальные детали перед хромированием обрабатывают на аноде в течение 0,5—1,0 мин при плотности тока 15—20 А/дм<sup>2</sup>, чугунные — в течение 20—30 с. Анодирование алюминия перед осаждением на него металлических покрытий ведут в 30%-ном растворе фосфорной кислоты при 1,0—1,5 А/дм<sup>2</sup> в течение 5—8 мин.

Для анодной обработки стальных деталей перед осаждением на них покрытий предложено использовать растворы следующих составов (г/л): раствор № 1 — серная кислота — 700—800; раствор № 2 — серная кислота — 700—800 и двуххромовокислый калий — 20—30. Раствор № 3 готовится из концентрированных серной и фосфорной кислот в соотношении 1:1 по объему. Начальная плотность тока в первых двух электролитах — 10—15 А/дм<sup>2</sup>, в третьем — 15—30 А/дм<sup>2</sup>. По мере формирования окисной пленки ток снижается, а напряжение возрастает до 10—15 В. Когда на аноде начинается бурное выделение кислорода, процесс можно считать законченным. При эксплуатации электролитов нельзя допускать разбавления их водой и попадания ионов хлора, так как это приводит к разрушению пассивирующей пленки и травлению металла.

Детали из меди и ее сплавов перед осаждением на них покрытий из цианистых электролитов можно обрабатывать в течение 0,5—1,0 мин на аноде при плотности тока 3—5 А/дм<sup>2</sup> в электролите, содержащем 30—40 г/л цианистого калия и 20—30 г/л углекислого калия.

## 22. Химическое и электрохимическое фрезерование

Процессы травления используются не только для очистки поверхности металлов, снятия продуктов коррозии, но и для ряда специальных целей — получения рельефных изображений, клеймения деталей, при изготовлении печатных плат, интегральных схем. Развитие техники, связанное с применением деталей малой толщины, сложной конфигурации, выявило целесообразность использования для их изготовления также процесса травления, который в этом случае получил в литературе название химического, а при наложении тока — электрохимического фрезерования.

Если на поверхность металла фотохимическим или другим способом нанесено изображение, причем одни его участки защищены химически стойким слоем, а другие оставлены незащищенными,

<sup>1</sup> А. с 517661 (СССР)

Таблица 18. Составы растворов для химического и электрохимического фрезерования

Обрабатываемый металл	Компонент раствора	Содержание компонента, г/л	Температура раствора, °С	Анодная плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	Скорость травления, мкм/мин
Химическое фрезерование					
Углеродистая сталь	Серная кислота Соляная >	500—550 40—50	18—40	—	10—15
	Азотная кислота Соляная > Хлорное железо	600—650 250—300 70—75	13—45	—	10—20
	Соляная кислота Азотная > Фосфорная	400—450 45—50 20—25	18—40	—	8—10
Высоколегированная сталь	Хлорное железо	40—50	35—45	—	10—15
	Цинк	Соляная кислота	100—150	18—40	—
Медь и ее сплавы	Хлорное железо (кристаллогидрат) Соляная кислота	75—80 5—8	18—40	—	20—25
	Хлорная медь	200—250	18—40	—	15—20
	Никель	Хлорное железо (кристаллогидрат)	550—600	35—45	—
Соляная кислота Азотная >		200—250	18—40	—	20—25
Азотная кислота		200—250	60—70	—	5—10
Хром	Хлорное железо (кристаллогидрат) Соляная кислота	600—650 150—200	35—45	—	15—20
	Титан	Серная кислота Плавниковая >	100—200 80—150	20—60	—
Молибден	Серная кислота Азотная >	200—220	40—50	—	10—25
	Алюминий и его сплавы типа АМг, АМц	Едкий натр Хлорное железо (кристаллогидрат)	100—200 120—180	60—80 18—45	—
Соляная кислота Азотная >		300—400 50—60	18—50	—	30—50

то можно производить травление по этим незащищенным участкам на определенную глубину или насквозь, получив таким путем детали или полуфабрикаты. Подобная химическая обработка имеет существенные преимущества, по сравнению с механической. Так как травильный раствор действует одновременно на всю обрабатываемую поверхность, то из одной заготовки можно получить целый ряд деталей, даже различной конфигурации. Химический процесс не зависит от твердости металла, а подбор и приготовление травильного раствора связаны с меньшими затратами, чем применение инструмента при механической обработке. Для реализации процесса не требуется специального, дорогостоящего оборудования. Изготовление деталей, например тонких пружин, сеток, профилей переменного сечения и других, не сопровождается изменением поверхности и поверхностного слоя металла, как это происходит при механической деформации.

Технико-экономическая эффективность химического и электрохимического фрезерования определяется: достаточно обособанным подбором деталей, которые намечено таким путем изготавливать, а также способом нанесения на металл изображения и изоляции отдельных его участков, не подлежащих травлению. Сам процесс перехода металла в раствор непродолжительный, в особенности если он ведется в проточном электролите.

Растворы для химического фрезерования характеризуются скоростью травления и емкостью, т. е. количеством растворенного в единице объема металла, при котором раствор становится неработоспособным. Повышения скорости травления можно достигнуть применяя наиболее активные компоненты или увеличивая их концентрацию. Для повышения емкости раствора необходимо увеличить растворимость накапливающихся в нем продуктов реакции, например путем введения комплексообразователей.

В табл. 18 приведены некоторые составы растворов для химического и электрохимического фрезерования черных и цветных металлов и примерные скорости травления [9]. Наиболее универсальным является 25—40%-ный раствор хлорного железа, который применяется при травлении стали, меди и ее сплавов. Для уменьшения образования нерастворимых продуктов в него вводят иногда около 10% соляной кислоты. Наибольшая допустимая температура 50—55°С, так как дальнейшее повышение может привести к разложению и образованию осадка гидроксида железа.

Цветные металлы и сплавы (медь, латунь) в растворах хлорного железа травятся со скоростью 40—50 мкм/мин, сталь, никель — 20—30 мкм/мин. Добавление небольшого количества хлоридов щелочных металлов увеличивает емкость раствора, а нитратов, перекиси водорода — скорость травления.

Большой эффективностью отличаются растворы персульфата аммония, которые характеризуются высокой скоростью травления меди и ее сплавов. Однако вследствие нестабильности, в особенности при повышенной температуре и небольшой емкости, практическое использование их ограничено.

Защита от травления отдельных участков металла, в случае если оно проводится после получения на нем фотоизображения, осуществляется уже в процессе фотопечати подбором соответствующего стойкого в травильном растворе фоторезистора. Если же изображение контура детали, по которому должно идти травление,

Обрабатываемый металл	Компонент раствора	Содержание компонента, г/л	Температура раствора, °С	Анодная плотность тока, А/дм <sup>2</sup>	Скорость травления, мкм/мин
Сплавы магния типа МА2, МА5, МЛ15	Серная кислота Ингибитор ПБ-5	100—150 5—10	18—40	—	10—20
Сталь	Электрохимическое фрезерование				
	Хлористый натрий	150—200	18—40	5—10	—
Медь и латунь	Хромовый ангидрид	300—350	18—25	3—5	—
	Аммиачный сернистый	10—15	—	—	—
	Хлористый аммиачный Хлористый натрий	180—200 130—150	18—25	3—5	—
Алюминий и его сплавы типа АМг, АМц	Соляная кислота Хлористый аммиачный Хлористый кальций	150—200 180—200 180—200	18—25	5—10	—
	Фосфорная кислота Натрий хлористый	400—500 70—80	18—25	10—20	—

наносит на металл другим способом, то не подлежащие травлению участки защищают химически стойкими материалами. Против слабощелочных и кислых растворов при температуре ниже 35°С устойчивы хлорвиниловый лак ХВЛ, эмали ХВ-1100, ПХВ-29, кислых растворов при температуре ниже 80°С — нитроклей АК-20, щелочных растворов — клей БФ-2, БФ-4, лак АК-ГЗФ, неопреновый клей № 88. В кислых и щелочных средах устойчив эпоксидный лак Э4100. Возможно также использование композиций на органической основе с наполнителем. Например, для защиты алюминия в процессе травления при комнатной температуре в 10—20%-ном растворе едкой щелочи хорошие результаты дало применение композиции, содержащей 100 г клея № 88, 90 г каолина и растворителя, представляющего собой смесь этилацетата и бензина в соотношении 2 : 1. Растворитель вводят в композицию до получения удобной для работы консистенции изоляционной массы. Такое защитное покрытие дает возможность получать весьма четкие контуры при травлении алюминия на глубину до 10 мм.

### 23. Размерное травление резьбовых крепежных деталей

При нанесении гальванических покрытий на резьбовые крепежные детали весьма часты случаи искажения резьбы, что приводит

к нарушению свинчиваемости сопряженной пары. Причиной этого является изменение среднего диаметра деталей из-за неравномерного осаждения покрытия. Для обеспечения свинчиваемости необходимо производить нарезку резьбы нестандартным инструментом с учетом толщины покрытия и применять резьбовые калибры с жестко регламентированным допуском на износ. Иногда приходится прибегать к проходу резьбы уже после осаждения на детали покрытия, что приводит к ухудшению его качества.

Этих сложностей и неприятностей можно избежать, если провести предварительную химическую обработку деталей с целью регламентированного снятия металла по толщине в пределах, необходимых для обеспечения их свинчивания после нанесения покрытия. Этот метод основан на травлении железа в растворе сернической меди. Как известно, в таком растворе в результате контактного обмена происходит растворение железа с одновременным осаждением на поверхности деталей рыхлого слоя меди, который слабо держится на металле и может быть легко удален механическим путем. При этом на освобождающихся от меди участках железа вновь будет происходить реакция контактного обмена. Продолжительность указанного процесса зависит лишь от наличия в растворе химикатов, участвующих в реакции, и определяет толщину снятого слоя металла.

Процесс размерного травления резьбовых крепежных деталей можно проводить в барабанной или колокольной ванне, наполненной раствором сернической меди. Требуемое количество медной соли растворяют в таком количестве воды, чтобы во время обработки все детали находились в растворе. Частота вращения ванны — 20—40 об/мин. Обработку ведут до обесцвечивания раствора, что показывает на окончание реакции в результате истощения исходных продуктов. Обычно на это уходит 20—40 мин.

При вращении барабана наряду с реакцией контактного обмена происходит механическое удаление выделяющегося на железе слоя меди в результате трения деталей. Для интенсификации процесса снятия вместе с деталями в ванну загружают фарфоровую крошку диаметром 2—5 мм в соотношении 1 : 1 по объему.

Количество сернической меди (г), необходимой для занижения размера деталей на определенную величину, рассчитывается по формуле

$$m = 0,5Sn\delta,$$

где  $S$  — площадь поверхности одной детали, дм<sup>2</sup>;  $n$  — количество деталей в загрузке, шт.;  $\delta$  — требуемое занижение толщины детали, мкм; 0,5 — переводный коэффициент.

Так, например, для занижения размера 1000 шт. винтов с цилиндрической головкой на 10 мкм при длине винта 10 мм и диаметре резьбы М3, М5, М6 требуется 110, 218, 295 г сернической меди, соответственно.

После окончания процесса травления оставшийся на поверхности деталей слой меди удаляют в растворе, содержащем 250—300 г/л хромового ангидрида и 100—120 г/л сернического аммония. Продолжительность обработки 10—30 мин. Занижение резьбы указанным способом травления рекомендуется проводить не более чем на 12 мкм.

## 24. Химическое и электрохимическое снятие покрытий

Для снятия с поверхности деталей недоброкачественных покрытий используют методы химического или электрохимического анодного растворения. Составы соответствующих растворов подбирают с таким расчетом, чтобы они, активно воздействуя на покрытие, не реагировали или слабо реагировали с металлом основы, на которую это покрытие нанесено. Практически почти полного отсутствия этих нежелательных реакций удается получить при анодном растворении хромового, оловянного, свинцового покрытий на стали в растворе щелочи, химического растворения цинкового покрытия на алюминии в азотной кислоте и окисного анодизационного покрытия на алюминии в фосфорнохромовокислом растворе. В других случаях может происходить небольшое подтравливание основного металла.

В табл. 19 приведены составы ряда растворов для химического и анодного снятия покрытий. В тех случаях, когда содержание в растворе серной, соляной, азотной и фосфорной кислот дано в литрах, миллилитрах, частях по объему или процентах по объему, плотности их приняты 1,84; 1,19; 1,41; 1,60, соответственно.

## IV. ХИМИЧЕСКОЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОЛИРОВАНИЕ

### 25. Способы полирования

Способы химического и электрохимического полирования различаются составом применяемых электролитов, что непосредственно связано с природой обрабатываемого металла. Для того чтобы обоснованно подойти к выбору того или иного способа полирования, следует кратко рассмотреть современные представления о механизме процесса.

Непосредственным результатом химического или электрохимического полирования является возникновение блеска поверхности металла. Одновременно происходит растворение его внешнего слоя и, в большинстве случаев, сглаживание микрошероховатостей. Увеличение блеска связано, прежде всего, с предотвращением травления металла, которое является наиболее доступным путем реализации анодного процесса. Торможение травящего действия электролита на металл происходит в результате образования на его поверхности пассивирующей пленки окисной природы. Такая пленка может возникнуть как под влиянием взаимодействия растворяющегося металла с компонентами электролита, так и в результате непосредственного окисления металла при определенных значениях анодного потенциала.

Образование на металле оксидных пленок при анодной обработке имеет место в ряде процессов промышленного электролиза, например, при анодировании алюминия. Однако процесс анодирования не приводит к повышению блеска поверхности металла. Хотя оксидные пленки, возникающие при анодировании и полировании, имеют общую природу, они существенно отличаются по своим характеристикам. Результат анодной обработки металла, протекающей в условиях возможного образования оксидной пленки, зависит от

соотношения скорости формирования пленки и ее растворения в электролите. Преобладание первой из них приводит к оксидированию, второй — к травлению металла. Наибольший блеск поверхности достигается при минимальной толщине оксидной пленки, которая должна быть достаточной, чтобы предотвратить травящее действие электролита на металл. Для этого необходимо, чтобы скорости электрохимического процесса формирования пленки и химического процесса ее растворения были не только близки, но чтобы и скорости обоих процессов были высокими. Известно, что процессы электрохимического полирования протекают в весьма агрессивных средах при высоких значениях потенциала и плотности тока. Это подтверждает указанные сообщения о механизме процесса. Образование на аноде пассивирующей пленки приводит к повышению электрохимической однородности поверхности металла, так как преимущественное растворение происходит на участках химических, структурных и микрогеометрических неоднородностей, где пассивирующий слой менее совершенен, благодаря чему повышается блеск поверхности металла.

Сглаживание микрошероховатостей поверхности при анодном полировании также связано с наличием на металле пассивирующей пленки, если шероховатости эти минимальны и находятся на уровне субмикрорельефа. Сглаживание шероховатости поверхности определяется, в основном, количеством электричества, пропущенного через электролит, и следовательно, количественными изменениями в прианодном слое. Помимо этого в ходе электролиза наблюдаются уменьшение высоты микровыступов и округление их вершин с переходом к волнообразному микрорельефу. В этом случае сглаживание шероховатостей при электрохимическом полировании вызывается неравномерностью вторичного распределения тока по микрорельефу поверхности и концентрационными изменениями в прианодном слое электролита.

С учетом указанных представлений о механизме электрохимического полирования можно рассматривать и вопрос о составе электролитов на примере обработки меди. В растворе фосфорной кислоты блеск поверхности меди достигается в очень узком диапазоне плотностей тока и потенциалах, близких началу выделения кислорода. При большой плотности тока, хотя поверхность металла и получается блестящей, на ней образуются мелкие точечные углубления, напоминающие питтинг. Добавление в электролит хромового ангидрида заметно изменяет ход процесса — эффект полирования достигается в широком диапазоне плотностей тока, одинаково хорошо полируются не только медь, но и большинство ее сплавов. В последнее время в отечественной и зарубежной практике начинают применяться электролиты, содержащие добавки некоторых органических соединений, которые также улучшают качество обработки поверхности металла.

Для того чтобы представить, какую же роль играют эти добавки при электрохимическом полировании, рассмотрим поляризационные кривые, т. е. зависимость потенциал электрода — плотность тока, характеризующие процессы, происходящие на электроде при электролизе (рис. 3). Кривые снимались в потенциодинамическом режиме, когда задается программа повышения потенциала анода и отмечается происходящее при этом изменение плотности тока. Ход всех трех кривых в общем аналогичен, и на них можно отметить четыре участка характеризующие различные стадии процесса.

Таблица 19. Составы растворов для химического и электрохимического снятия покрытий

Материал		Компонент раствора	Содержание компонентов, г/л	Режим работы	
покрытия	основы			Температура, °С	Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>
Цинк	Сталь	1. Соляная кислота Катализ К-И-1 2. Едкий натр	50—100 3—5 100—120	15—30	—
	Алюминий и его сплавы	Азотная кислота	50—70 (массовая доля, %)		
Кадмий	Сталь, медь и ее сплавы	1. Аммоний азотнокислый 2. Аммоний азотнокислый Соляная кислота	450—500 100—150 10—15	15—30	—
	Сталь	Соляная кислота Сульма треххлористая	200—300 10—20		
Медь	Сталь	1. Хромовый ангидрид Аммоний сернокислый 2. Азотнокислый натрий 3. Хромовый ангидрид Соляная кислота	250—300 100—120 100—120 100—120 1—2	15—30	1—1,5 5—10
	Алюминий и его сплавы	Азотная кислота	50—70 (массовая доля, %)		

Никель	Сталь	Серная кислота Азотная кислота Железо сернокислое (кристаллогидрат)	1 ч (по объему) 2 ч (по объему) 10—20	15—30	3—5
	Сталь, медь алюминий и их сплавы	Серная кислота Глицерин	60—70 (массовая доля, %) 10—15		
Хром	Сталь, медь и ее сплавы	Натрий азотнокислый	300—400	15—30	8—10
	Сталь	Едкий натр	100—150		
Олово	Медь и ее сплавы	Соляная кислота	100—200	40—50	—
	Сталь	Едкий натр	100—150		
Свинец	Медь и ее сплавы	Соляная кислота Окись сурьмы Вода	1 л 12 г 1250 мл	15—30	—
	Сталь	Едкий натр	100—150		
Сплав олово-висмут	Сталь, медь и ее сплавы	Соляная кислота Вода	1 л 1 л	50—60	—

Материал		Компонент раствора	Содержание компонентов, г/л	Режим работы	
				Температура, °С	Плотность тока, А/дм <sup>2</sup>
покрытия	основы				
	Сплав олово — свинец	Едкий натр	60—80	60—70	2—3
Сплав медь — цинк	Сталь	Уксусная кислота (ледяная) Перекись водорода (30%-ная) Вода	500 мл 100 мл 1400 мл	15—30	—
	Медь и ее сплавы	Серная кислота Азотная кислота	19 ч (по объему) 1 ч (по объему)	50—60	—
Серебро, сплав серебро — сурьма	Алюминий	Азотная кислота	60—70 (объемная доля, %)	15—30	—
	Медь и ее сплавы	Серная кислота	920—950	15—30	5—10
Золото, сплав, золото — серебро					

Окисное покрытие (полученное химически)	Сталь	Соляная кислота	150—200	15—30	—
	Медь и ее сплавы	Соляная кислота	50—100	15—30	—
Окисное покрытие (полученное анодно-рованнем)	Магний и его сплавы	Едкий натр	300—400	80—90	—
	Алюминий и его сплавы	Фосфорная кислота Хромовый ангидрид	35 мл 20 г	15—30	—
	Магний	Едкий натр	300—400	80—90	—
	Титан	Плавиковая кислота Азотная кислота	150—200 10—15	15—30	—
Окисно-фторидное покрытие	Алюминий и его сплавы	Азотная кислота	60—70 (массовая доля, %)	15—30	—
Окисно-фосфатное покрытие	Алюминий и его сплавы	Хромовый ангидрид	100—150	90—100	—
Фосфатное покрытие	Сталь	1. Соляная кислота	100—150	15—30	—
		2. Серная кислота	100—150	15—30	
		3. Едкий натр	150—200	90—100	

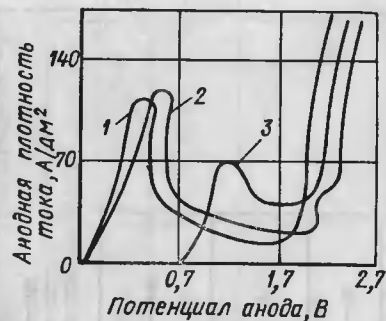


Рис. 3. Поляризационные кривые процесса электрохимического полирования меди в растворах:

1 — 1200 г/л фосфорной кислоты; 2 — 1200 г/л фосфорной кислоты и 10 объемных долей этилового спирта; 3 — 1200 г/л фосфорной кислоты и 100 г/л хромового ангидрида

образования солевого слоя вызывает повышение температуры электролита у поверхности анода. При этом создаются условия, благоприятствующие формированию на аноде пленки окисла как в результате гидролиза солей, так и непосредственно окисления металла при повышении анодного потенциала. В этом случае в довольно широком диапазоне потенциалов плотность тока будет определяться отношением скоростей формирования окисной пленки и ее растворения в электролите и не будет зависеть от значения потенциала анода. Этот процесс характеризуется площадкой предельного тока на поляризационной кривой. Второй подъем кривой указывает на начало нового процесса — разряда ионов кислорода. Критические значения потенциалов, соответствующих изменению хода поляризационной кривой и, следовательно, началу нового анодного процесса, определяются составом электролита.

Как видно из рис. 3 (кривая 3), введение в электролит ионов шестивалентного хрома приводит к повышению предельного тока и смещению стационарного потенциала меди в сторону положительных значений. При анодной плотности тока ниже предельной выход металла по току очень высок и наблюдается травление. Подавление процесса травления происходит при более положительных потенциалах и большей плотности тока, чем в фосфорнокислом растворе, не содержащем ионов шестивалентного хрома. Очевидно, окислитель, которым являются хроматы, в отсутствие поляризации или при небольших значениях анодного потенциала, способствующий увеличению скорости растворения металла, с повышением анодного потенциала начинает принимать участие в формировании на металле окисной пассивирующей пленки, тормозящей процесс травления. Образующаяся на поверхности меди пленка содержит соединения хрома. По своей структуре и диэлектрическим свойствам она отличается от пленки, сформированной в фосфорнокислом электро-

лите, не содержащем других компонентов. Поверхность металла, полированного в фосфорнохромовокислом электролите, обладает гидрофобными свойствами, что облегчает отделение выделяющихся при электролизе на аноде пузырьков кислорода. Отличие в составе и свойствах пленок, образующихся при анодной обработке меди в фосфорнокислом и фосфорнохромовокислом электролитах, обуславливает различное качество полирования. В первом случае появление на металле пittingа при режиме, соответствующем второму подъему поляризационной кривой, связано с дефектами покрывающей металл пленки и задержкой отделения пузырьков кислорода. Во втором — блестящая поверхность без точечных углублений достигается в широком диапазоне плотностей тока на участке второго подъема кривой. Причиной этого является изменение состава и структуры окисной пассивирующей пленки, повышение ее сплошности под влиянием содержащихся в электролите хроматов.

Возрастание электросопротивления в зоне обра-

ботки приводит к снижению анодной плотности тока. Если же пленка пористая, то сила проходящего тока будет определяться электропроводностью слоя на участках пор.

Введение в фосфорную кислоту этилового спирта не приводит к столь существенным изменениям критических точек на кривой процесса анодной обработки меди, как это имеет место при добавлении в электролит хроматов. Наблюдается сдвиг потенциала выделения кислорода в сторону более положительных значений и появление участка замедленного изменения поляризационных характеристик в зоне второго подъема кривой (кривая 2). Это указывает на то, что положительное влияние хроматов и этилового спирта на процесс электрохимического полирования меди определяется различными причинами. Этиловый спирт или продукты его анодного окисления не участвуют в формировании окисной пленки на поверхности металла. Исследования показали, что благоприятное действие этилового спирта связано с адсорбцией этой добавки на электроде, которая происходит, прежде всего, на участках металла, не покрытых окисной пленкой, но может распространяться и на поверхность пленки. Результатом адсорбции является повышение сплошности пассивирующего слоя, что способствует торможению и предотвращению процесса травления металла. Этиловый спирт оказывает также существенное влияние на физико-химические свойства раствора. Введение его в фосфорную кислоту приводит к понижению поверхностного натяжения, причем отмечено, что наибольший блеск поверхности металла достигается в электролите, в котором с помощью этилового спирта получено наибольшее снижение поверхностного натяжения. В таком растворе облегчается отделение от поверхности анода выделяющихся на нем пузырьков кислорода, что также способствует повышению качества полирования.

Приведенные соображения указывают на то, что введение в фосфорную кислоту некоторых окислителей или органических соединений благоприятно сказывается на качестве обработки поверхности металла за счет участия этих соединений в процессе формирования на нем пассивирующего слоя.

Хотя химическое полирование выполняется без применения внешнего источника тока, оно имеет много общего с электрохимическим полированием. При химическом полировании воздействие раствора на металл сочетается с действием гальванических пар на его поверхности, что приводит к возникновению пассивирующей окисной пленки. Толщина этой пленки меньше, чем при электрохимическом полировании, что, по-видимому, и объясняет меньшую



эффективность сглаживания и повышения блеска поверхности металла.

До недавнего времени электрохимическое полирование рассматривалось лишь как способ декоративной отделки деталей, но проведенные исследования показали, что возможности его значительно шире и позволяют использовать этот процесс для улучшения эксплуатационных характеристик ряда деталей и узлов аппаратуры.

Известно, что при механической обработке происходит деформация поверхностного слоя металла, концентрация в нем напряжений, скрытых дефектов. Чем тоньше материал, тем большее влияние на его свойства оказывает поверхностный слой. Устранение этого влияния известными методами затруднено. Термическая обработка мало влияет на тонкий поверхностный слой. Механическое шлифование и полирование не может его удалить. Травление сопровождается неравномерным растворением по структуре металла и его наводороживанием.

Электрохимическое полирование оказывает непосредственное благоприятное воздействие на поверхность и поверхностный слой металла. Из рис. 4 видно, что только при электрохимическом полировании образуется волнообразный рельеф и происходит сглаживание высокочастотных микрошероховатостей. Радиус округления вершин шероховатостей в десятки раз больше, чем при механическом шлифовании, радиус округления впадин в несколько

раз превышает получаемый при обработке металла другими способами. Средний шаг между шероховатостями также отличается в сторону увеличения. Все это благоприятно влияет на износостойкость трущихся поверхностей. При одинаковых параметрах шероховатости поверхности образцы, обработанные электрохимическим полированием, имеют значительно ниже коэффициент трения и меньше износ, чем механически полированные образцы. Серебряные покрытия, осажденные на электрополированную поверхность, при трении изнашиваются на 15—20% меньше, чем осажденные на механически полированную поверхность. Существенно улучшаются упругие характеристики пружинных

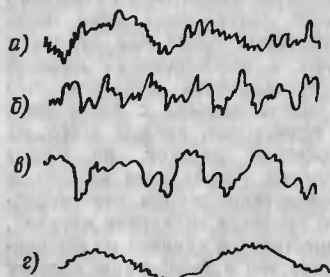


Рис. 4. Профиллограммы поверхности обработанных стальных образцов ( $Ra 0,80$ ): а — шлифованием, б — точением; в — механическим полированием; г — электрохимическим полированием

материалов — повышается предел упругости, релаксационная стойкость. Заметно уменьшается наводороживание стальных электрополированных пружин при последующем цинковании. Улучшаются также электромагнитные свойства электротехнической стали и железоникелевого сплава пермаллоя. Благодаря наличию на поверхности электрополированного металла пассивирующей пленки повышается его стойкость против коррозии. Это позволяет использовать процессы химического и, в особенности, электрохимического полирования для декоративной отделки деталей, подготовки их перед

осаждением покрытий и как новый способ улучшения некоторых важных эксплуатационных характеристик изделий.

Химическое полирование менее трудоемко, чем электрохимическое или механическое, оно не связано с затратой электроэнергии. К его недостаткам относятся малый срок службы растворов, трудность, а иногда и невозможность их корректирования. Блеск поверхности металла получается меньше, чем при электрохимическом полировании. Химическому полированию целесообразно подвергать медные, латунные и алюминиевые детали небольших размеров, не требующие получения интенсивного блеска поверхности.

Электрохимическое полирование применяют для обработки труб, пружин, турбинных лопаток, инструмента, ряда деталей, работающих в условиях трения или знакопеременных нагрузок, для декоративной отделки ювелирных изделий. Благодаря сочетанию электрополирования с последующим анодированием и адсорбционным окрашиванием получают отделку алюминиевых деталей под золото. Этот процесс незаменим при обработке полупроводников, так как позволяет получить поверхность со стабильными электрофизическими характеристиками. Применяя электрохимическое полирование для чистой обработки деталей, можно уменьшить шероховатость поверхности. При этом следует учитывать, что на деталях не должно быть глубоких рисок, заборн, раковин, так как они не устраняются при анодной обработке. Наиболее интенсивный блеск поверхности металла достигается на сравнительно небольших деталях, причем плоские поверхности полируются хуже, чем цилиндрические. Процесс электрохимического полирования может быть автоматизирован. Для этого используются автоматические линии. Работают установки для непрерывного полирования пружинной ленты и проволоки. В последнем случае поляризация обрабатываемого материала ведется биополярным методом. Более подробные сведения о механизме процесса, технологии его применения и влиянии на свойства металлов приведены в работе [2].

При полировании деталей в стационарной ванне необходимо обращать внимание на конструкцию подвесных приспособлений. Они должны обеспечивать плотный контакт с обрабатываемой деталью и анодной штангой, так как при отсутствии его будет происходить травление металла. Приспособления можно изготовить из того же материала, что и обрабатываемые детали, но они довольно быстро растворяются и требуют замены. При полировании стали приспособления целесообразно освинцевать, что во много раз увеличит срок их службы.

Наиболее долговечны приспособления из титана, который не разрушается в электролитах. Образующуюся на нем при анодной обработке окисную пленку следует периодически удалять в разбавленной серной кислоте.

## 26. Химическое полирование

В производственной практике химическое полирование применяется преимущественно для обработки цветных металлов — меди, алюминия и их сплавов. Некоторые составы соответствующих растворов приведены в табл. 20. В случаях, когда содержание кислот дано в объемных долях или миллилитрах, расчет ведется на концентрированные продукты.

В растворе № 1 и 6 полируют медь и некоторые ее сплавы, в растворе № 2 помимо меди можно обрабатывать бронзу, в том числе бериллиевую. Раствор № 3 рекомендован для обработки латуни, раствор № 4 — сплавов медь — никель, раствор № 5 — бронзы КМц. В растворах № 3 и 4 помимо указанных компонентов остаток до 100% составляет вода. Алюминий высокой чистоты и сплавы типа АМг<sub>0,5</sub> полируют в растворе № 7, технический металл и сплавы АМг, АМц — в растворе № 8, сплавы АМг6, АК6, АК8, АД31 — в растворе № 9.

Растворы № 1 и 6 используют при комнатной температуре; раствор № 3 — при 40—45°C; раствор № 4 — при 50—60°C; растворы № 5 и 8 — при 65—75°C; растворы № 2, 7, 9 — при 90—110°C. Продолжительность обработки в зависимости от исходного состояния поверхности деталей и требований к их внешнему виду после полирования изменяется от 0,5 до 5 мин.

Полирование цинка можно вести при комнатной температуре в растворе, содержащем 100—150 г/л хромового ангидрида и 2—4 г/л серной кислоты. Для обработки никеля можно применять раствор концентрированных кислот следующего состава (мл): фосфорная — 100, азотная — 300, серная — 100, уксусная — 50. Полирование ведут при температуре 80—90°C. Титан можно обрабатывать при температуре 60—70°C в следующем растворе кислот (мл): азотная — 200, серная — 200, плавиковая — 100.

При полировании меди и ее сплавов, увеличение концентрации в растворе азотной кислоты приводит к снижению блеска поверхности металла, а увеличение концентрации фосфорной кислоты ухудшает сглаживание микрошероховатостей. Превышение оптимального содержания воды стимулирует травление металла. Раствор можно использовать до накопления в нем 30—35 г/л меди.

Проведенные в последние годы исследования выявили эффективность влияния на процесс химического полирования введения в раствор органических соединений. Один из таких растворов<sup>1</sup> имеет состав (массовая доля, %): серная кислота — 34, азотная кислота — 11, соляная — 0,5, препарат ОП-10 — 0,2, полиакриламид — 0,1. Обработку деталей ведут при температуре 40°C в течение 5 мин.

Кислотные растворы для полирования алюминия дают удовлетворительные результаты, если содержание в них металла не превышает 35—40 г/л. Корректирование их сводится к периодическому добавлению воды и азотной кислоты. Введение азотнокислой меди способствует уменьшению травления металла. Положительный результат в этом отношении дает также добавка 1% мочевины. Лучшее качество полирования достигается при обработке алюминия высокой чистоты и его сплавов с магнием и марганцем. Сплавы, содержащие медь или цинк, полируются значительно хуже, а на сплавах с высоким содержанием кремния полирования вообще не происходит.

Для химического полирования алюминия за рубежом используют при 55°C раствор, который имеет следующий состав (массовая доля, %): бифторид аммония — 8—16, азотная кислота — 11—18, азотнокислый свинец — 0,04, декстрин — 1.

Из сплавов на основе железа наиболее положительные результаты достигаются при обработке нержавеющей стали типа

<sup>1</sup> А. с. 514912 (СССР).

Таблица 20. Составы растворов для химического полирования меди, алюминия и их сплавов

Компонент растворов	Номер раствора								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	г/л		Массовая доля, %	Массовая доля, %	Объемная доля, %	Массовая доля, %	г/л		мл
Фосфорная кислота	930—950	1300—1400					—	—	
Серная »	—	—	—	1,8	—	—	200—250	—	160
Азотная »	280—290	—	2,2	—	10—12	22—18	110—150	60—80	60
Соляная »	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Уксусная »	250—260	—	—	—	23—25	19—15	—	—	—
Азотнокислый калий	—	450—500	—	—	—	—	—	—	—
Перекись водорода	—	—	10,5	10,5	—	—	—	—	—
Спирт этиловый	—	—	2,8—3,0	2,8—3,0	—	—	—	—	—
Карбоксиметилцеллюлоза	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Азотнокислая медь	—	—	—	—	—	—	0,8	—	0,8 г
Борная кислота	—	—	—	—	—	—	—	—	5 г
Тиомочевина	—	—	—	—	—	—	—	—	5 г

Т а б л и ц а 21. Составы электролитов для обработки стали (массовая доля, %)

Состав и температура электролита	Марка стали		
	12Х18Н9Т	2Х13, Х17Н9, Х15Н5Д2Т	Углеродистая
Фосфорная кислота	70—65	45—40	65—75
Серная »	20—15	25—27	15—10
Хромовый ангидрид	—	4—5	5—6
Вода	10—20	26—28	15—9
Температура, °С	60—80	75—90	70—80

12Х18Н9Т. Используемый для этого раствор имеет состав (массовая доля, %): серная кислота — 34, соляная кислота — 6,5, азотная кислота — 4,5, хлористый натрий — 0,5, вода — 54, краситель кислотный черный 3М — 0,5. Обработку деталей ведут в течение 3—10 мин при температуре 70—75°С. Корректирование раствора сводится к периодической добавке воды и азотной кислоты. По мере накопления солей железа продолжительность полирования увеличивается до 15—20 мин. В 1 л раствора можно обрабатывать детали общей площадью около 8 дм<sup>2</sup>, после чего его необходимо сменить.

При обработке деталей как из черных, так и цветных металлов следует периодически встряхивать их в ванне. Мелкие детали загружают в сетчатых корзинах. Перед погружением в горячие полировочные растворы крупногабаритные детали прогревают. Влажные детали необходимо предварительно высушить, чтобы не внести воды в концентрированные растворы. Объемная плотность загрузки деталей в ванну влияет на качество полирования. При чрезмерно большом количестве деталей в малом объеме раствора неизбежна неравномерность обработки поверхности, возможно ее травление. Допустимую загрузку ванны деталями устанавливают опытным путем.

После химического полирования детали необходимо быстро и тщательно промыть в проточной воде и высушить. Иногда целесообразно провести химическое пассивирование полированных деталей в соответствующих растворах.

На Петродворцовом часовом заводе разработан и применяется процесс химического полирования мелких деталей из углеродистой стали с целью уменьшения шероховатости и снятия грата [6]. Полирующий раствор имеет состав (г/л): фосфорная кислота — 1000, хромовый ангидрид — 10, перманганат калия — 2, хлористый натрий — 4, фосфорная кислота — 0,1, силикат натрия — 2.

Для приготовления раствора фосфорную кислоту нагревают до температуры 330°С, когда, как предполагают, она переходит в метафосфорную НРО<sub>3</sub>, после чего в нее вводят остальные компоненты, выдерживают 6—7 ч при 50—60°С и 10—12 ч при комнатной температуре. Полирование ведут при 105—115°С в течение 5—10 мин. Полированные детали нейтрализуют в 1,5%-ном растворе кальцинированной соды и затем осветляют в растворе, содержащем 60 мл/л концентрированной фосфорной кислоты, 60 г/л двуххромовокислого калия, 1,5 г/л перманганата калия в течение 0,5—2 мин при комнатной температуре. При перерывах в работе полировочный раствор необходимо хранить в герметизированной таре во избежание поглощения им влаги, так как даже небольшое ее количество значительно ухудшает качество полирования. Детали, обработанные в указанном растворе, имеют светлую поверхность, но не отличаются ярким блеском.

Наблюдается сглаживание микрошероховатостей. Скорость съема металла 1—1,5 мкм/мин.

## 27. Электрохимическое полирование стали

Основой промышленных электролитов для полирования стали является фосфорная кислота. Другими важными компонентами служат серная кислота и хромовый ангидрид. Аустенитные стали (12Х18Н9Т, Х17Г9АНЧ) полируются в фосфорносернистых рас-

ворах, содержание воды в которых не должно превышать 20% по массе. При полировании нержавеющей аустенитных сталей присутствие в электролите ионов шестивалентного хрома не является обязательным. Для легированных сталей других марок, а также для углеродистых сталей высокое качество полирования достигается только при наличии в электролите ионов шестивалентного хрома. В табл. 21 приведены составы электролитов для обработки сталей.

Анодная плотность тока 50—60 А/дм<sup>2</sup>, при большей температуре электролита плотность тока может быть понижена до 30—40 А/дм<sup>2</sup>. Продолжительность полирования составляет 3—10 мин. С повышением плотности тока падает анодный выход металла по току. Увеличение продолжительности электролиза сопровождается почти пропорциональным возрастанием съема металла. Поэтому при полировании деталей, имеющих малый допуск на изменение размеров, целесообразно применять более высокую плотность тока (до 80—100 А/дм<sup>2</sup>) с одновременным уменьшением продолжительности обработки.

Следует при этом учитывать, что при большой плотности тока возрастает опасность местного перегрева электролита и обрабатываемых деталей, который может привести к растрескиванию поверхности металла. Учитывая это, необходимо контролировать температурный режим процесса, перемешивать электролит или обеспечить его циркуляцию.

При обработке в электролитах сталей типа 2Х13, Х17Н2, в особенности после их термообработки, иногда на поверхности деталей появляется точечное травление, напоминающее пitting. Для предотвращения этого можно вести электролиз с постепенным понижением плотности тока. Первые 1—3 мин ее поддерживают на уровне 60—80 А/дм<sup>2</sup>, а затем уменьшают до 10—20 А/дм<sup>2</sup>.

Для приготовления указанных электролитов растворяют в воде хромовый ангидрид, после чего небольшими порциями вводят фосфорную, а затем серную кислоты. После этого раствор прогревают при 100—105°С до достижения плотности 1,7—1,74. Необходимо, чтобы хромовый ангидрид полностью растворился, так как оставшиеся мелкие частицы могут вызвать травление металла. Корректирование электролита ведут добавлением воды с таким расчетом, чтобы плотность его после прохождения электричества 75 А·ч/л не превышала 1,76—1,78. Расчет количества воды, необходимой для

Т а б л и ц а 22. Характеристика неполадок при электрохимическом полировании стали и способы их устранения

получения требуемой плотности раствора, проводится по следующей формуле:

$$V = \frac{V_1(d_1 - d_2)}{d_2 - 1}$$

где  $V$  — количество воды, необходимой для разбавления электролита, л;  $V_1$  — количество электролита, подлежащего корректированию, л;  $d_1$  — плотность электролита до разбавления;  $d_2$  — требуемая плотность электролита после разбавления.

Добавление кислот ведут на основании данных химического анализа. При накоплении в электролите ионов трехвалентного хрома более 1,5%, в пересчете на  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , проводят его анодное окисление со свинцовым анодом при плотности тока 4—5  $\text{А/дм}^2$ , напряжении 10—12 В и температуре 20—40°C. Катод помещают в пористую керамическую диафрагму, которую заполняют смесью фосфорной и серной кислот, взятых в объемном соотношении 2 : 1. Толщина стенок диафрагмы 2—4 мм, диаметр пор 5—7 мкм. После окисления электролит прогревают в течение 1—2 ч при 90—100°C или выдерживают 8—10 ч при комнатной температуре.

Фосфорносернохромовокислые электролиты можно эксплуатировать до накопления в них железа 6—7% (в пересчете на  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), после чего начинается заметное травление обрабатываемого металла. В этом случае необходимо проводить регенерацию электролита с выделением железа в осадок по специальной методике [2]. В производстве часто восстанавливают работоспособность полировочного электролита, заменяя 2/3—3/4 его объема свежеприготовленным раствором. Это значительно проще и короче, чем регенерация с выведением накопленного железа, но менее экономично.

В табл. 22 приведены характеристики неполадок, встречающихся при полировании стали в фосфорносернохромовокислых электролитах, их причины и способы устранения.

За последние годы был предложен ряд новых электролитов для полирования стали на основе фосфорной и серной кислот с добавкой органических соединений. Хороший эффект полирования с получением интенсивного блеска поверхности металла в таких электролитах достигается, преимущественно, для высоколегированных сталей типа нержавеющей. Такие электролиты имеют следующий состав (массовая доля, %): электролит № 1 — фосфорная кислота — 60, серная кислота — 20, вода — 20 (добавки, г/л: сульфопонат — 2, пеногаситель ПМС-200А — 0,1); электролит № 2 — фосфорная кислота — 60, серная кислота — 20, вода — 20 (добавка — 2 г/л технического сульфуренда); электролит № 3 — фосфорная кислота — 50, серная кислота — 40, вода — 10 (добавка — 1—2 г/л карбоксиметилцеллюлозы); электролит № 4 — фосфорная кислота — 30—40, серная кислота — 40—50, вода — 5—35 (добавки, г/л: карбоксиметилцеллюлозы — 0,2—0,3; мононатрий-альфа-сульфопальмината — 0,1—0,2); электролит № 5<sup>1</sup> — фосфорная кислота — 1200—1500; серная кислота — 180—550 (добавка — 2—20 г/л малеиновой кислоты или малеинового ангидрида). Полирование ведут при температуре 50—60°C в электролите № 1, при 20—30°C — в электролитах № 2, 3, 5, при 20—50°C — в электролите № 4. Анодная плотность тока,

Характеристика неполадок	Причины неполадок	Способы устранения
В электролите, проработавшем менее 10 А·ч/л		
Точечное травление металла	Наличие в электролите взвесей мелких частиц хромового ангидрида	Прогреть электролит при 90—100°C до полного растворения хромового ангидрида
Появление матовости после протирки поверхности деталей	1. Электролит после приготовления не прогрет и не проработан. 2. Низкая температура электролита	1. Прогреть электролит в течение 1,0—1,5 ч при 110—120°C или проработать током 5—10 А·ч/л 2. Нагреть электролит до 70—80°C
Коричневая опалесцирующая пленка на металле	Плотность электролита выше 1,77	Разбавить электролит водой до плотности 1,74 и прогреть 1,0—1,5 ч при температуре 90—100°C
Отсутствие блеска поверхности металла, беловатые пятна на желтом фоне	Высокое содержание в электролите трехвалентного хрома (свыше 1,5% $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )	Провести анодное окисление трехвалентного хрома
Отсутствие блеска поверхности металла, желтые пятна	Низкая плотность электролита (ниже 1,7)	Прогреть электролит до достижения плотности 1,74
В электролите, проработавшем более 10 А·ч/л		
Белые полосы на деталях	Высокая плотность электролита (свыше 1,80)	Разбавить электролит водой до достижения плотности 1,74 и прогреть при 90—100°C в течение 1 ч
Отсутствие блеска, светло-желтые пятна	Низкая плотность электролита	Выпарить электролит до достижения плотности 1,74
Отсутствие блеска, темно-коричневые пятна	1. Большая концентрация трехвалентного хрома в электролите (2—3% $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). 2. Высокая температура электролита (свыше 70°C). 3. Высокая анодная плотность тока (свыше 50 $\text{А/дм}^2$ ). 4. Плохой контакт детали с подвесным приспособлением	1. Окислить $\text{Cr}_2\text{O}_3$ электролизом с пористой диафрагмой. 2. Понизить температуру электролита до 70°C. 3. Понизить анодную плотность тока до 25—35 $\text{А/дм}^2$ .
Отсутствие блеска вблизи контакта детали с приспособлением, коричневые пятна, остальная поверхность блестящая	Плохой контакт детали с приспособлением	4. Улучшить контакт детали с подвесным приспособлением Увеличить площадь контакта детали с приспособлением, зачистить приспособление

<sup>1</sup> А. с. 685731 (СССР).

Характеристика неполадок	Причины неполадок	Способы устранения
Серебристо-белые пятна на вогнутых участках детали и вблизи контактной ее с приспособлением	Экраивание вогнутых участков краями детали или приспособлением	Изменить положение детали в ванне, сблизить электроды, повысить анодную плотность тока до 50 А/дм <sup>2</sup>
Волиность у краев и отверстий деталей	1. Высокая температура электролита. 2. Длительное время электрополирования.	1. Понизить температуру до 60—70°С. 2. Уменьшить продолжительность полирования до 5—8 мин.
Коричневые пятна, появляющиеся после извлечения детали из ванны	3. Высокая анодная плотность тока Малая продолжительность электрополирования	3. Понизить плотность тока до 25 А/дм <sup>2</sup> Увеличить продолжительность электрополирования до 8—10 мин
Синева-коричневый оттенок поверхности детали, появившийся после обработки ее в растворе щелочи	1. Высокая концентрация NaOH (свыше 10%). 2. Длительное пребывание детали в растворе щелочи	1. Уменьшить концентрацию NaOH до 10%. 2. Уменьшить время обработки в растворе щелочи до 10 мин
Полосчатость, чередование крупной и мелкозернистой структуры металла	Влияние прокатки и последующего отжига	Уменьшить время электрополирования до 5 мин

А/дм<sup>2</sup>: в электролите № 1—100—300; в электролите № 2—100—150; в электролите № 3—100—250; в электролите № 4—150—200; в электролите № 5—25—40.

Электролиты № 1 и 2 рекомендуются использовать для обработки нержавеющей аустенитных и полуперлитных сталей типов 12Х18Н10Т, 12Х18Н9; 12Х18Н9, ЭИ-852, электролит № 3, 5— для низколегированных и углеродистых сталей типов Ст3, 08кп, 9х. В электролите № 4 обрабатывают магнитомягкие сплавы 50Н, 79НМ; сплавы с заданным коэффициентом линейного расширения 29НК, 38НКД, с заданными упругими свойствами—36НХТЮ, 40КХНМ. Электролит № 5 предложен для обработки низколегированной и углеродистой стали переменным током. Электролиз переменным током сопровождается осветлением поверхности металла, но значительного повышения блеска не удается достигнуть. Повышенные плотности тока используют для снятия грата с кромок деталей и сглаживания микрошероховатостей. Электролиты № 2, 3, 5 при эксплуатации необходимо охлаждать.

Электрохимическое шлифование, т. е. сглаживание грубых микрошероховатостей без одновременной декоративной отделки деталей, рекомендуется проводить в электролите, который имеет состав (массовая доля, %): серная кислота—10—12, глицерин—

25—50, соляная кислота—0,15—0,3, вода—остальное. Температура электролита 20—30°С, анодная плотность тока при обработке углеродистых сталей—40—50 А/дм<sup>2</sup>, хромистых—30—150 А/дм<sup>2</sup>.

Наши исследования показали, что практический интерес могут представлять электролиты следующих основных составов: электролит № 1 (объемная доля, %)—фосфорная кислота—50, серная кислота—50 (добавка—8—10 г/л уротропина); электролит № 2—состав тот же (добавка—50 г/л винной кислоты); электролит № 3 (массовая доля, %)—фосфорная кислота—65, серная кислота—15, вода—15, триэтаноламин—5; электролит № 4 (массовая доля, %)—фосфорная кислота—50, серная кислота—50 (добавка—40 г/л молочной кислоты). Температура электролита, °С: электролитов № 1 и 2—60—70, электролитов № 3 и 4—50—60. Анодная плотность тока для всех четырех электролитов 25—50 А/дм<sup>2</sup>.

Указанные электролиты особенно целесообразно использовать для обработки высоколегированных сталей. Некоторые из них (электролиты № 1 и 3) уже применяются на производстве для полирования нержавеющей стали. В этом случае качество обработки не ниже, чем достигаемое при использовании фосфорно-сернохромовокислого электролита.

Хотя высокое качество декоративной отделки поверхности деталей в электролитах с добавками органических соединений достигается преимущественно для высоколегированных сталей, такие растворы во многих случаях технически и экономически целесообразно применять не только для этих марок металла. Так, например, в них можно проводить обработку деталей, требующих уменьшения шероховатости поверхности, снятия поверхностного деформированного слоя металла, увеличения стойкости против коррозии, когда интенсивность блеска не столь важна. Отсутствие в растворах соединений хрома упрощает их корректирование. В некоторых растворах накапливающиеся соли железа выпадают в осадок, что исключает необходимость специальной регенерации.

В результате электрохимического полирования поверхность металла покрывается пассивирующей пленкой. Если на детали затем будут наноситься гальванические покрытия, в особенности из щелочных электролитов, необходимо предварительно, провести активацию металла в 5%-ном растворе соляной кислоты. Если же электрохимическое полирование является заключительной отделочной операцией, то после промывки в воде полированные стальные детали обрабатывают в течение 15—20 мин при 60—70°С в 10%-ном растворе едкого натра. Такая обработка значительно повышает их стойкость против коррозии.

## 28. Электрохимическое полирование меди и ее сплавов

Полирование меди, латуни, бронзы, нейзильбера ведут в растворах фосфорной кислоты с добавками хромового ангидрида или органических соединений.

Фосфорнокислый электролит в настоящее время почти не используется, что вызвано рядом его технологических недостатков. Удовлетворительное качество полирования в нем достигается лишь при режиме предельного тока, который трудно поддерживать при одно-

временном полировании ряда деталей, в особенности сложной конфигурации. В этом электролите не удается полировать медные сплавы, например бериллиевую и кремнемарганцевую бронзы, свинцовую латунь.

Добавление к фосфорной кислоте хромового ангидрида существенно изменяет ход электролиза. Хорошее качество полирования достигается в широком диапазоне плотностей тока выше предельной. Становится возможным полирование большинства медных сплавов. Только на латуни ЛС59 и бронзе КМц возникновение блеска сопровождается небольшим точечным травлением поверхности, появлением на ней матовых пятен.

Ионы шестивалентного хрома оказывают положительное влияние на блеск поверхности металла, но одновременно несколько ухудшают сглаживание микрошероховатостей и заметно увеличивают съем металла. Повышение содержания хромового ангидрида усиливает как положительное, так и отрицательное влияние его на качество полирования. Учитывая это, в производстве используют электролит, содержащий 1000—1200 г/л фосфорной кислоты и 100—150 г/л хромового ангидрида. Электролиз ведут при анодной плотности тока 15—50 А/дм<sup>2</sup> и температуре 18—30°C в течение 3—10 мин. Накопление в растворе небольшого количества меди улучшает качество полирования. По мере накопления медь осаждается на катоде и в виде шлама выпадает в осадок. Корректирование электролита сводится к периодическому добавлению воды для поддержания определенной плотности раствора, и фосфорной кислоты. Плотность раствора поддерживают в пределах 1,55—1,65. Для предотвращения катодного восстановления ионов шестивалентного хрома до трехвалентных, что неблагоприятно сказывается на качестве полирования, следует катоды из меди или нержавеющей стали помещать в пористые керамические диафрагмы. В качестве катода используют фосфорную кислоту. Если электролиз ведут без применения диафрагм, то при накоплении в растворе свыше 1,5% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> необходимо провести анодное окисление трехвалентных ионов хрома при тех же условиях, какие указаны выше для корректирования раствора электрохимического полирования стали.

Фосфорнохромовокислый электролит имеет несомненные преимущества перед фосфорнокислым. Наряду с этим следует учитывать его недостатки — большой съем металла, малую интенсивность сглаживания микрошероховатостей, необходимость периодического окисления накапливающихся ионов трехвалентного хрома, усложнение работ по обезвреживанию содержащих хром промышленных стоков. Этих недостатков в значительной мере лишены фосфорнокислые электролиты с добавками органических соединений.

Проведенные исследования выявили положительное влияние на процесс полирования алифатических спиртов, в особенности бутилового и амилового, которые предотвращают травление и повышают интенсивность блеска поверхности металла (рис. 5). Добавки некоторых аминов, например уротропина или полиэтиленполиамина, уменьшают съем металла при электролизе, но не предотвращают большого точечного травления медных сплавов. Положительное влияние отмечено для аминоспиртов (моно-, ди- и триэтанолamina), которые оказывают ингибиторное действие на процесс травления, повышают интенсивность блеска поверхности металла. Наибольший

интерес могут представить амиды органических кислот, которые, будучи добавлены в электролит в весьма небольшом количестве, не только предотвращают травление, но и способствуют повышению блеска и сглаживания микрошероховатостей поверхности металла.

Перспективными для практического применения могут быть электролиты, содержащие 1000—1300 г/л фосфорной кислоты и следующие добавки: электролит № 1 — 80—100 мл/л н-бутилового спирта; электролит № 2 — 40—50 мл/л моноэтанолamina; электролит № 3 — 40—50 мл/л диэтанолamina; электролит № 4 — 80—100 г/л серной кислоты и 40—50 мл/л триэтанолamina; электролит № 5 — 5—10 г/л молочной кислоты.

Во всех указанных электролитах полирование ведут при температуре 18—30°C и анодной плотности тока 15—50 А/дм<sup>2</sup>. Для достижения декоративного блеска поверхности или подготовки деталей перед осаждением на них покрытий достаточно вести обработку в течение 4—6 мин, при необходимости уменьшить шероховатость поверхности продолжительность электролиза увеличивают до 8—10 мин.

В электролите № 1 при кратковременном электролизе достигается хорошая декоративная отделка меди и большинства ее сплавов. Добавка бутилового спирта позволяет использовать более разбавленные растворы фосфорной кислоты — ее минимальная концентрация может быть снижена до 800 г/л. В электролитах № 2, 3, 5 помимо увеличения блеска металла достигается уменьшение шероховатости поверхности. Бронза КМц лучше всего полируется в электролите № 2, латунь ЛС59 — в электролитах № 1 и 2. При ухудшении качества полирования в электролитах добавляют фосфорную кислоту до установленной концентрации и органическое соединение в количестве 10—20% от первоначального его содержания в растворе. Если на поверхности деталей появляется точечное травление, своеобразный питтинг, в указанные электролиты следует добавить 2—5 мл/л бутилового спирта.

Для электрохимического полирования меди и ее сплавов предложены электролиты<sup>1</sup>, содержащие 900—1300 г/л фосфорной кислоты и 3—6 г/л амида сульфаниловой или тиоугольной кислоты. Электролит, содержащий первую добавку, более устойчив против

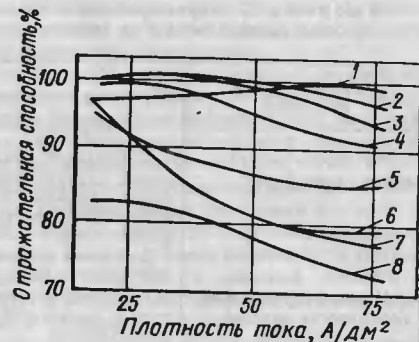


Рис. 5. Отражательная способность поверхности меди, в зависимости от плотности тока и добавок в фосфорнокислый электролит спиртов:

1 — амилового, 2 — бутилового, 3 — пропилового, 4 — изоамилового, 5 — этилового, 6 — изобутилового, 7 — изопропилового, 8 — без добавок

<sup>1</sup> А. с. 479821 (СССР).

Таблица 23. Характеристика неполадок при электрохимическом полировании меди и ее сплавов и способы их устранения

Характеристика неполадок	Причины неполадок	Способы устранения
Матовость поверхности деталей	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Большая концентрация трехвалентного хрома (свыше 1,5%) в электролите, содержащем <math>\text{CrO}_3</math></li> <li>2. Низкая концентрация добавки ПАВ</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Провести анодное окисление трехвалентного хрома</li> <li>2. Добавить ПАВ</li> </ol>
Неравномерный блеск поверхности деталей	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Плохой контакт детали с подвесным приспособлением.</li> <li>2. Экранирование одних деталей другими</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обеспечить плотный контакт детали с подвесным приспособлением</li> <li>2. Изменить положение деталей в ванне</li> </ol>
Точечное травление на плоских участках поверхности деталей	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Низкая плотность тока.</li> <li>2. Малый срок работы электролита</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Повысить анодную плотность тока до <math>35-50 \text{ А/дм}^2</math>.</li> <li>2. Проработать электролит с медным анодом <math>2-3 \text{ А}\cdot\text{ч/л}</math></li> </ol>
Точечное травление на различных участках поверхности деталей	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Большое количество воды в электролите.</li> <li>2. Низкая плотность тока.</li> <li>3. Низкая концентрация ПАВ</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Электролит, содержащий <math>\text{CrO}_3</math>, прогреть при <math>90-100^\circ\text{C}</math> до достижения плотности <math>1,6-1,65</math>.</li> <li>2. Повысить анодную плотность тока до <math>35-50 \text{ А/дм}^2</math>.</li> <li>3. Добавить ПАВ</li> </ol>

воздействия повышенной температуры. В электролите, содержащем вторую добавку, температура не должна превышать  $40^\circ\text{C}$ . Электролиз ведут при анодной плотности тока  $15-50 \text{ А/дм}^2$ . Корректирование раствора проводится после прохождения через него  $250-300 \text{ А}\cdot\text{ч/л}$ . Электролит, содержащий добавку амида тиоугольной кислоты (тиомочевины), хорошо показал себя в производственных условиях.

В табл. 23 приведены характеристики неполадок, встречающихся при электрохимическом полировании меди и ее сплавов, и способы их устранения.

### 29. Электрохимическое полирование алюминия и его сплавов

Для полирования алюминия и некоторых его сплавов применяют электролиты на основе фосфорной кислоты и щелочные фосфатные электролиты. В кислых растворах процесс идет при значительно большей плотности тока и достигаются более интенсивный блеск и сглаживание микрошероховатостей поверхности. В таких электролитах полируются алюминий различных марок и его сплавы с магнием, марганцем, медью. Добавочными ком-

понентами кислых электролитов обычно являются серная кислота и хромовый ангидрид. В последние годы появились сообщения об использовании добавок органических соединений.

Щелочные электролиты применяют для полирования деталей из алюминия. Они не обеспечивают интенсивного сглаживания микрошероховатостей, но сообщают поверхности металла блеск, который требуется при отделке изделий. Чем выше чистота алюминия, тем интенсивнее будет блеск его поверхности.

Применяемые в промышленности трехкомпонентные фосфорнокислые электролиты имеют следующий состав (массовая доля, %): фосфорная кислота —  $40-50$ , серная кислота —  $40-35$ , хромовый ангидрид —  $6-5$ , вода —  $14-10$ . Высокий блеск поверхности металла достигается при температуре  $65-75^\circ\text{C}$  и анодной плотности тока от  $15$  до  $70 \text{ А/дм}^2$ . Предпочтительно вести электролиз при плотности тока  $25-50 \text{ А/дм}^2$  в течение  $5-10$  мин.

При электролизе происходит катодное восстановление шестивалентных ионов хрома до трехвалентных, уменьшение концентрации в растворе кислот и воды, переход в раствор алюминия. В отличие от процесса полирования стали накопление трехвалентных ионов хрома оказывает менее отрицательное влияние на качество полирования алюминия. Однако содействующее этому значительное повышение вязкости и снижение электропроводности раствора все же оказывают отрицательное влияние. Поэтому периодически необходимо проводить корректирование электролита анодным окислением трехвалентных ионов хрома. Кислоты добавляют с учетом данных анализа раствора, воду — для поддержания плотности в пределах  $1,65-1,70$ . Нормальная эксплуатация ванны возможна до накопления в растворе  $30-35 \text{ г/л}$  алюминия. После этого  $1/3-1/2$  объема электролита заменяют свежеприготовленным.

Положительные результаты дало применение в процессе полирования реверсирования постоянного тока. При продолжительности цикла  $10 \text{ с}$ , анодного периода  $9 \text{ с}$  и катодного периода  $1 \text{ с}$  достигаются хороший блеск и сглаживание микрошероховатостей поверхности. Одновременно за счет катодного периода поляризации металла уменьшается его растворение и, соответственно, увеличивается срок службы электролита.

Из кислых полировочных электролитов содержащих добавки органических соединений, можно указать на рекомендуемый для промышленного использования следующий раствор (г/л): фосфорная кислота —  $750-830$ , серная кислота —  $580-640$ , триэтанолламин —  $4-6$ , каталин БПВ —  $0,5-1,0$ . Электролиз ведут при температуре  $60-80^\circ\text{C}$ , анодной плотности тока  $20-50 \text{ А/дм}^2$  в течение  $3-5$  мин. Через каждые  $5 \text{ с}$  делают перерыв тока на  $30 \text{ с}$ .

Положительные результаты показали добавки в кислый электролит алифатических спиртов и амиоспиртов. При этом оказалось возможным исключить из состава раствора серную кислоту. В растворе, содержащем  $1100-1200 \text{ г/л}$  фосфорной кислоты и  $10-15\%$  (объемные доли) *n*-бутилового спирта, при  $60-70^\circ\text{C}$  и анодной плотности тока  $30-50 \text{ А/дм}^2$  на техническом алюминии был достигнут декоративный блеск поверхности. Добавка амиоспиртов (моноэтанолламина и диэтанолламина) оказывает положительное влияние при концентрациях не ниже  $10\%$ . При их содержании в растворе  $12-15\%$  полностью прекращается травление и повышается отражательная способность поверхности металла. Электролит с добавкой

диэтанолamina более длительно работает без корректирования, чем электролит с моноэтанолaminом.

В производственных условиях используется электролит, содержащий концентрированную фосфорную кислоту (плотность 1,7) и 10% от ее объема моноэтанолamina. Полирование ведут при температуре 60—65°C и анодной плотности тока 15—40 А/дм<sup>2</sup>. Превышение оптимальной температуры или разбавление электролита водой приводит к травлению и уменьшению блеска металла. Корректирование раствора осуществляют периодическим добавлением в него небольших порций свежеприготовленного электролита.

Щелочные электролиты, кроме основного компонента тринатрийфосфата, содержат едкую или кальцинированную щелочь и в некоторых случаях алюмокалиевые квасцы, которые способствуют уменьшению съема металла. На Рижском радиозаводе им. Попова используют электролит, который имеет следующий состав (г/л): тринатрийфосфат — 320, углекислый натрий — 230—250. Обработку алюминиевых деталей ведут при температуре 80—85°C, анодной плотности тока 2—6 А/дм<sup>2</sup> в течение 10—20 мин. Детали загружают в ванну без тока и выдерживают в течение 15—30 с, после чего дают анодную поляризацию. Очень быстро вслед за этим сила тока снижается почти до половины первоначального значения. При обработке в течение 10 мин толщина обрабатываемого металла уменьшается на 4—6 мкм. В процессе полирования желательна вертикально или горизонтально покачивать анодную штангу с деталями. Образующаяся на поверхности алюминия при такой обработке тонкая радужная пленка снимается в растворе, содержащем 54 мл/л фосфорной кислоты (плотность 1,7) и 30 г/л хромового ангидрида, при 60—65°C и выдержке в течение 2—5 мин. Полировочный электролит оказывает весьма слабое коррозионное воздействие на алюминий, что особенно важно при переносе деталей в ванну промывки. Это делает его весьма приемлемым для использования в автоматических линиях.

В автомобильной промышленности нашли применение щелочные электролиты двух типов [8] (г/л): электролит № 1 — фосфорнокислый натрий — 110—120, алюмокалиевые квасцы — 80—85, едкий натр — 25—30. (Электролиз ведут при температуре 70—80°C, анодной плотности тока 2,0—5,5 А/дм<sup>2</sup> в течение 10 мин); электролит № 2 — фосфорнокислый натрий — 300—380, углекислый натрий — 200—300, сорбит — 40—50. (Полирование проводят в две стадии: в первой ванне при температуре 80—90°C анодной плотности тока 4 А/дм<sup>2</sup> в течение 10 мин, во второй ванне при температуре 70—80°C, анодной плотности тока 6 А/дм<sup>2</sup>, в течение 10 мин; после начала электролиза сила тока быстро понижается в 1,5—2 раза.)

Напряжение на ваннах щелочного полирования достигает 18—20 В. Катодами в них служит нержавеющая сталь, а в кислых электролитах — свинец.

Корректирование щелочных электролитов проводится по данным анализа основных компонентов. Не допускается наличия в растворе ионов хлора. При эксплуатации ванн на дне выпадает осадок солей алюминия, который отделяют декантацией или фильтрацией.

Понижение температуры электролита приводит к уменьшению блеска поверхности металла, превышение оптимального ее значения или понижение плотности тока может вызвать травление.

Если при полировании на поверхность алюминия появляются цвета побежалости, следует понизить температуру электролита или добавить в него 0,5—1,0 г/л алюмокалиевых квасцов. В случае уменьшения блеска поверхности металла или снижения плотности тока целесообразно добавить в раствор 0,5—2,0 г/л едкого натра.

В табл. 24 приведена характеристика некоторых неполадок, встречающихся при электрохимическом полировании алюминия в кислых и щелочных электролитах, их причины и способы устранения.

### 30. Электрохимическое полирование цинка, никеля, хрома

Для полирования цинка пригодны как щелочные, так и кислые электролиты. Обработка его в 25%-ном растворе едкого кали при комнатной температуре и анодной плотности тока 50—100 А/дм<sup>2</sup> сопровождается значительным повышением блеска поверхности металла. Однако при этом иногда бывают случаи местного травления. Более надежный результат дает анодная обработка в 5%-ном растворе цианистого калия при температуре 18—25°C и плотности тока 10—15 А/дм<sup>2</sup>.

Основой кислых электролитов во многих случаях является фосфорная кислота, но качество обработки металла повышается, если к ней добавляют хромовый ангидрид. Такого типа электролит имеет состав (массовая доля, %): фосфорная кислота — 60, хромовый ангидрид — 10, вода — 30. Сходный, четырехкомпонентный раствор можно использовать для полирования кадмия (массовая доля, %): фосфорная кислота — 5, серная кислота — 5, хромовый ангидрид — 40, вода — 50. В обоих случаях электролиз ведут при температуре 18—25°C, анодной плотности тока 3—8 А/дм<sup>2</sup> в течение 1—2 мин.

Наиболее простым способом полирования никеля является анодная обработка в растворе, содержащем 500 мл серной кислоты (плотность 1,84) и 500 мл воды при температуре 18—25°C, напряжении 10—15 В, анодной плотности тока 50—100 А/дм<sup>2</sup>. Интенсивный блеск поверхности металла достигается через 0,5—2,0 мин электролиза. При работе на дно ванны постепенно выпадает накапливающийся в растворе сульфат никеля, который необходимо периодически удалять и компенсировать уменьшение концентрации серной кислоты. Изменение ее оптимального содержания приводит к ухудшению качества полирования. При накоплении сульфата никеля свыше 90 г/л раствор следует сменить. К недостаткам сернокислого электролита необходимо отнести большую скорость растворения металла, что имеет особенно большое значение при полировании тонколистового материала.

Качество полирования никеля и его сплавов в сернокислом электролите повышается, если к 70%-ному раствору серной кислоты добавить 2—3 г/л сульфопната и вести электролиз при 30—50°C и анодной плотности тока 70—150 А/дм<sup>2</sup>.

Добавление фосфорной кислоты к серной заметно расширяет рабочий диапазон плотностей тока и несколько снижает съем металла. В растворе, который имеет состав (массовая доля, %): серная кислота — 50—30, фосфорная кислота — 30—50, вода — 20, при 18—30°C полирование можно вести при анодной плотности тока от 15 до 100 А/дм<sup>2</sup>. Продолжительность обработки уменьшается с повышением плотности тока.



**Таблица 24.** Характеристика неполадок при электрохимическом полировании алюминия и способы их устранения

Характеристика неполадок	Причины неполадок	Способы устранения
<b>В фосфорносернохромовокислых электролитах</b>		
Точечное травление поверхности алюминия	1. Наличие в электролите взвеси мельчайших частиц хромового ангидрида. 2. Плохой контакт детали с подвесным приспособлением	1. Прогреть электролит до полного растворения хромового ангидрида. 2. Улучшить контакт детали с приспособлением
Белые матовые полосы или пятна на металле	Высокая плотность электролита	Разбавить электролит до плотности 1,65 и прогреть при 80—90°C в течение 2—3 ч
Отсутствие блеска	Низкая плотность раствора	Прогреть раствор до достижения плотности 1,65—1,67
Матовость на отдельных участках металла	1. Местный перегрев электролита. 2. Плохой контакт полируемой детали с подвесным приспособлением. 3. Большая концентрация трехвалентного хрома в электролите	1. Снизить температуру электролита до 70—80°C. 2. Улучшить контакт детали с подвесным приспособлением. 3. Окислить трехвалентный хром
<b>В щелочных электролитах</b>		
Цвета побежалости на алюминии, появляющиеся при извлечении детали из электролита	1. Низкая анодная плотность тока. 2. Недостаточная проработка электролита Недостаточная промывка и сушка	1. Повысить плотность тока до 4 А/дм <sup>2</sup> . 2. Прогреть и проработать электролит Улучшить качество промывки в проточной воде. Повысить температуру сушки, снять радужную пленку в 10%-ном растворе азотной кислоты
Цвета побежалости на алюминии, появляющиеся после его промывки и сушки	Плохой контакт детали с подвесным приспособлением	Улучшить контакт детали с подвесным приспособлением
Травление поверхности металла	1. Низкая анодная плотность тока. 2. Низкая температура электролита	1. Повысить плотность тока до 4 А/дм <sup>2</sup> . 2. Повысить температуру электролита до 90°C
Слабый блеск поверхности алюминия		

Никель и железоникелевые сплавы типа пермаллоя хорошо полируются в фосфорносернохромовокислом электролите, применяемом для обработки углеродистой стали, состав которого был приведен выше. При этом его температура может быть понижена до 30—50°C. Накопление в растворе ионов трехвалентного хрома не оказывает столь неблагоприятного влияния на результат анодного процесса, как в случае полирования стали.

Для электрохимического полирования хрома можно применять фосфорносернокислые электролиты с добавками органических соединений, в том числе глицерина, лимонной кислоты, ингибитора ПБ-5. Практическое значение этот процесс может иметь применительно к гальваническим покрытиям, в особенности полученным из тетрахроматного электролита. Как известно, эти покрытия характеризуются меньшими внутренними напряжениями, чем полученные в обычном кислом электролите, но поверхность их матовая, темная. Удовлетворительные результаты достигаются при анодной обработке таких покрытий в следующем электролите (г/л): фосфорная кислота — 850, серная кислота — 18, глицерин — 10. Электролиз проводили в течение 5—8 мин при температуре 16—20°C и анодной плотности тока 20—30 А/дм<sup>2</sup>. Темные, матовые осадки при этом приобретали хороший декоративный вид. При более высокой температуре электролита качество полирования значительно ухудшается.

Обработка при указанных выше условиях хромовых покрытий, полученных в кислом электролите, привела к снижению их внутренних напряжений и выявлению пористости.

### 31. Электрохимическое полирование тугоплавких и благородных металлов

Для электрохимического полирования вольфрама и его сплавов с молибденом предложен электролит<sup>1</sup>, который имеет следующий состав (массовая доля, %): едкий натр или едкое кали — 1—10, гидроксид аммония — 3—10. Электролиз ведут при температуре 20—40°C и анодной плотности тока 0,5—3,0 А/дм<sup>2</sup>. В качестве катода используют нержавеющую сталь.

Электролиты для полирования титана и его сплавов содержат в качестве одного из основных компонентов, способствующих пассивации металла, серную, азотную или хромовую кислоты, а в качестве активирующего компонента — фториды. Добавки органических соединений, играющих роль ингибиторов, способствуют предотвращению травления металла и тем самым повышению качества полирования.

Титан и некоторые его сплавы полируют в электролите, в состав которого входят 500 г хромового ангидрида, 160 мл плавиковой кислоты (концентрированной) и до 1 л воды. Режим электролиза: температура 16—21°C, анодная плотность тока 20—50 А/дм<sup>2</sup>, напряжение 5—7 В.

Для полирования титана марки ВТ-1 и сплавов ОТ4-0 и ОТ4-1 предложен следующий электролит<sup>2</sup> (объемная доля, %): серная кислота 60—65, плавиковая кислота (концентрированная) —

<sup>1</sup> А. с. 298695 (СССР).

<sup>2</sup> А. с. 370271 (СССР).

20—25, глицерин — 10—20. Процесс полирования происходит при режиме предельного тока и напряжении 24—54 В. Положительные результаты дает применение электролита, состоящего из 50—65% серной кислоты, 7—16% азотной кислоты, 20—30% плавиковой кислоты, остальное — вода, 1 г/л сульфоиуреда. Электролиз ведут при температуре 20—40°C, анодной плотности тока 80—100 А/дм<sup>2</sup>, напряжении 8—15 В в течение 30—60 с.

Из благородных металлов электрохимическому полированию подвергаются, в основном, золото и, в меньшем объеме, серебро. Первое из них широко используется в ювелирной промышленности, где декоративному виду изделий придается большое значение. Для обработки золота и его сплавов 583 и 750 пробы, применяют следующие составы электролитов и режимы электролиза (г/л): электролит № 1 — калий цианистый — 25—30, калий железистосинеродистый — 20—25 (анодная плотность тока 20—30 А/дм<sup>2</sup>, температура раствора 80—90°C, продолжительность полирования 0,5—3 мин; катод — сталь 12Х18Н9Т, соотношение поверхности катода и анода 20:1); электролит № 2 — тиомочевина — 80—90, серная кислота — 20—40 (анодная плотность тока 3—5 А/дм<sup>2</sup>, температура раствора 18—25°C, продолжительность полирования 3—5 мин; катод — титан ВТ-1, соотношение поверхности катода и анода не менее 10:1); электролит № 3<sup>1</sup> — тиомочевина — 60—95, серная кислота — 10—75, роданистый аммоний — 2,5—250, молочная кислота — 2—10 (анодная плотность тока 6—30 А/дм<sup>2</sup>, температура раствора 22—50°C, продолжительность полирования 1—2 мин).

Цианистый электролит для полирования золотых изделий характеризуется большей стабильностью при работе, чем электролиты, содержащие тиомочевину, но вследствие большой токсичности находит все меньшее применение.

Для приготовления нецианистого электролита расчетное количество тиомочевинных растворяют в дистиллированной воде, после чего небольшими порциями вводят серную кислоту и затем другие компоненты. При работе электролит корректируют, добавляя тиомочевину, примерно один раз в 2—3 смены, и серную кислоту по данным анализа раствора. Нельзя допускать падения содержания тиомочевин в растворе ниже 70 г/л и серной кислоты ниже 30 г/л. Изделия загружают в ванну на подвесных приспособлениях, изготовленных из титанового сплава. Для уменьшения загрязнения раствора катоды помещают в чехлы из стеклотканн или другого химически стойкого материала.

Поверхность электрохимически полированных золотых изделий после выгрузки их из ванны может быть покрыта тонкой пленкой, уменьшающей блеск металла. Ее удаляют промывкой изделий в растворе, содержащем 400—500 мл/л перекиси водорода (30%-ной) и 90—100 г/л серной кислоты.

Значительная часть перешедшего в раствор золота выделяется на катоде и может быть отделена от него в виде довольно плотного осадка. При необходимости регенерации электролита небольшое количество остающихся в нем драгоценных металлов выделяют

осаждением на катоде. В начале электролиза поддерживают плотность тока 0,2—0,6 А/дм<sup>2</sup>, а после того, как содержание металлов в растворе значительно понизится, уменьшают ее до 0,1—0,2 А/дм<sup>2</sup>. Для удаления золота или серебра из промывной воды и каких-либо разбавленных растворов, могут быть использованы ионообменные смолы.

Электрохимическое полирование серебра можно вести в цианистых или щелочных нецианистых растворах. В первом случае электролиз проходит в условиях периодической анодной пассивности, выражающейся в периодическом противоположно направленном изменении тока и напряжения на ванне. При низкой плотности тока серебро анодно растворяется, образуя комплексные ионы, как это имеет место в ваннах серебрения. С повышением плотности тока в прианодном слое электролита уменьшается содержание ионов циана и возрастает содержание ионов серебра. При определенном содержании продуктов анодного растворения на поверхности анода может образоваться солевая слой. Под этим слоем на металле формируется тонкая окисная пленка, по-видимому, в результате частичного разложения соли вследствие повышения содержания гидроксильных ионов. Возникновение окисного слоя сопровождается понижением плотности тока и повышением напряжения. Через некоторое время, когда благодаря диффузии возрастет содержание в прианодном слое свободного цианида, окисная пленка растворится, ток повысится, соответственно уменьшится напряжение и создадутся условия для повторения цикла. Перемешивание электролита или перерыв электропитания ускоряют растворение окисной пленки. Поэтому целесообразно вести процесс полирования серебра с применением прерывистого тока.

При содержании в электролите 15—20 г/л цианида анодную плотность тока следует поддерживать 2—3 А/дм<sup>2</sup> и через каждые 2—3 с прерывать ток на такое же время, при общей продолжительности процесса 3—5 мин.

Для полирования серебра и некоторых его сплавов можно использовать электролиты следующих составов (г/л): электролит № 1 — цианистое серебро — 35, цианистый калий — 40—70, углекислый калий — 30—40 (анодная плотность тока 2 А/дм<sup>2</sup>, напряжение 2,5—3,5 В); электролит № 2 — желтая кровяная соль — 60, цианистый натрий — 60 (анодная плотность тока 15—20 А/дм<sup>2</sup>, напряжение 6 В, электролит перемешивают).

Из нецианистых электролитов, предложенных для полирования серебра, можно отметить следующие составы (г/л): электролит № 1<sup>1</sup> — серебро в виде пиррофосфатно-аммиачной соли — 5—25, натрий пиррофосфорнокислый — 30, аммоний серноокислый — 30—60, натрий азотистокислый — 5, аммиак (25%-ный) — 50—160 мл/л; электролит № 2<sup>2</sup> — калий кнслый фталевокислый — 40—60, полиэтиленполиамин — 40—60. В обоих случаях электролиз ведут при анодной плотности тока 1—5 А/дм<sup>2</sup> и температуре раствора 18—25°C.

<sup>1</sup> А. с. 191982 (СССР).

<sup>2</sup> А. с. 278341 (СССР).

1. Влияние качества воды на обезжиривание и коррозионную стойкость луженой жести. С. Г. Тыр, И. В. Васильева, Л. А. Бовина и др. Технология и организация производства, 1977, № 2, с. 62—64.
2. Грилихес С. Я. Электрохимическое полирование. Л.: Машиностроение, 1976. 205 с.
3. Инженерная гальванотехника в приборостроении/Под ред. А. М. Гринберга. М.: Машиностроение, 1977, с. 38—100.
4. Каушпедас З. П., Болчунайте Б. В. К вопросу о травлении сплавов алюминия в щелочах и кислотах.— В кн.: Подготовка поверхности перед нанесением гальванических покрытий. Л.: ЛДНТП, 1980, с. 67—70.
5. Келлер О. К., Кратыш Г. С., Лубяницкий Г. Д. Ультразвуковая очистка. Л.: Машиностроение, 1977. 181 с.
6. Кириллов В. И., Изюмова Л. В. Новые способы химического полирования деталей из углеродистых сталей. Л.: ЛДНТП, 1979. 28 с.
7. Лошкарев М. А., Марьяскин Ю. Б., Куприн В. П. К вопросу о механизме химического обезжиривания стали.— В кн.: Подготовка поверхности перед нанесением гальванических покрытий. М.: МДНТП, 1980, с. 10—14.
8. Макарова Н. А., Лебедева М. А., Набокова В. Н. Металлопокрытия в автомобилестроении. М.: Машиностроение, 1977. 293 с.
9. Московкин Л. Н., Ошарин В. И. Фотохимическое фрезерование. М.: Машиностроение, 1978. 92 с.
10. Смирнов Н. С., Простаков М. Е., Липкин Я. Н. Очистка поверхности стали. М.: Металлургия, 1978. 230 с.
11. Сравнительная характеристика некоторых мощных растворов, применяемых при подготовке поверхности под покрытия/А. В. Измайлов, В. А. Кудрявцева, Л. П. Гаврилина и др.— В кн.: Подготовка поверхности перед нанесением гальванических покрытий. Л.: ЛДНТП, 1980, с. 24—26.
12. Тарасов В. Г. Результаты исследований промывки изделий в ваннах гальванических линий.— В кн.: Экономика, проектирование и организация гальванических цехов. Л.: ЛДНТП, 1981, с. 44—48.
13. Травление холоднокатанного листа перед нанесением металлических покрытий/А. С. Афанасьев, Л. А. Бейлинова, Э. Я. Выдра и др.— Защита металлов, 1978, № 3, с. 351—353.

Предисловие . . . . .	3
<b>I. Механическая обработка поверхности деталей перед осаждением покрытий . . . . .</b>	<b>4</b>
1. Способы механической обработки . . . . .	—
2. Шлифование абразивными кругами и лентами . . . . .	8
3. Шлифование в барабанных и вибрационных установках . . . . .	12
4. Полирование кругами и лентами с полировочными пастами . . . . .	15
5. Полирование в барабанных и вибрационных установках . . . . .	20
6. Крацевание . . . . .	21
7. Струйная абразивная и гидроабразивная обработка . . . . .	23
<b>II. Обезжиривание . . . . .</b>	<b>26</b>
8. Способы обезжиривания . . . . .	—
9. Обезжиривание органическими растворителями . . . . .	30
10. Химическое обезжиривание в щелочных растворах . . . . .	32
11. Химическое обезжиривание в растворах на основе моющих препаратов . . . . .	37
12. Одновременное обезжиривание и травление . . . . .	39
13. Электрохимическое обезжиривание . . . . .	41
14. Эмульсионное обезжиривание . . . . .	42
15. Обезжиривание с применением ультразвука . . . . .	44
16. Промывка . . . . .	47
17. Контроль качества обезжиривания . . . . .	49
<b>III. Травление . . . . .</b>	<b>50</b>
18. Способы травления . . . . .	—
19. Травление черных металлов . . . . .	55
20. Травление цветных металлов . . . . .	60
21. Активирование и пассивирование перед осаждением гальванических покрытий . . . . .	66
22. Химическое и электрохимическое фрезерование . . . . .	67
23. Размерное травление резьбовых крепежных деталей . . . . .	70
24. Химическое и электрохимическое снятие покрытий . . . . .	72
<b>IV. Химическое и электрохимическое полирование . . . . .</b>	<b>—</b>
25. Способы полирования . . . . .	—
26. Химическое полирование . . . . .	81
27. Электрохимическое полирование стали . . . . .	84
28. Электрохимическое полирование меди и ее сплавов . . . . .	89
29. Электрохимическое полирование алюминия и его сплавов . . . . .	92
30. Электрохимическое полирование цинка, никеля, хрома . . . . .	95
31. Электрохимическое полирование тугоплавких и благородных металлов . . . . .	97
Список литературы . . . . .	100

ИБ № 3705

Семен Яковлевич Грилихес

**ОБЕЗЖИРИВАНИЕ,  
ТРАВЛЕНИЕ  
И ПОЛИРОВАНИЕ  
МЕТАЛЛОВ**

Б-ка гальванотехника, вып. 1

Редактор *Е. Г. Лукин*  
Художественный редактор *С. С. Венедиктов*  
Технический редактор *Т. Н. Витошинская*  
Корректор *А. И. Лавриненко*  
Обложка художника *В. Э. Нефедовича*

Сдано в набор 18.01.83. Подписано в печать 29.08.83. М-42607. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага типографская № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 5,46. Усл. кр.-отт. 5,67. Уч.-изд. л. 7,84. Тираж 20 000 экз. Заказ 508. Цена 45 коп.

Ленинградское отделение ордена Трудового Красного Знамени издательства «МАШИНОСТРОЕНИЕ»  
191065, Ленинград, ул. Дзержинского, 10

Ленинградская типография № 2 головное предприятие ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 198052, г. Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29.

**Монокристаллы корунда/ Д. М. Гуревич, Ю. В. Дерюгин, Е. Р. Добровольская и др.; Под общ. ред. Ю. В. Дерюгина.— Л.: Машиностроение, 1984.— 10 л.— 50 к.**

Впервые обобщен опыт обработки синтетических кристаллов для ювелирной промышленности. Описаны методы выращивания и обработки монокристаллов корунда. Приведены физико-механические характеристики и технические требования к цветному корунду. Рассмотрена технология изготовления изделий из корунда и указаны пути повышения трещиностойкости монокристаллов при механической обработке.

**Орлов В. А. Цинк-силикатные покрытия.— М.: Машиностроение, 1984.— 8 л.— 40 к.**

Рассмотрены составы и эксплуатационные характеристики нетоксичных цементоподобных покрытий, обладающих электрохимическими и гидроизолирующими защитными свойствами. Изложены особенности технологии их получения и нанесения, а также контроля качества. Описаны области применения рассматриваемых покрытий.