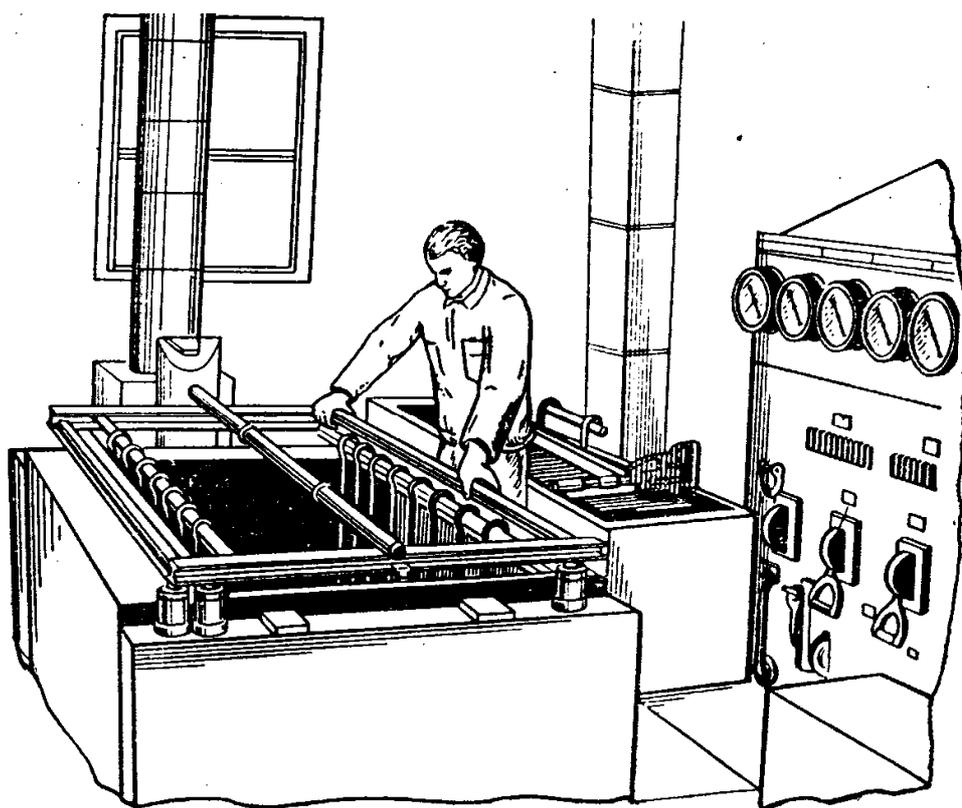


В.Ф. Крылов

**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ
В АВТОРЕМОНТНОМ
ПРОИЗВОДСТВЕ**



Министерство образования Российской Федерации
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия
(СибАДИ)

В.Ф. Крылов

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В АВТОРЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Учебное пособие

Омск
Издательство СибАДИ
2004

УДК 621.357+629.113.004.67
ББК 34.663+39.33
К 85

Рецензенты

д-р техн. наук, проф. С.А. Корнилович,
канд. техн. наук, доц. В.Ф. Ковалевский

Работа одобрена редакционно-издательским советом академии в качестве учебного пособия для студентов всех форм обучения специальностей 150200 "Автомобили и автомобильное хозяйство" и 030500.15 "Профессиональное обучение" по дисциплине "Основы технологии производства и ремонт автомобилей".

Крылов В.Ф. Электрохимические технологии в авторемонтном производстве: Учебное пособие.—Омск: Изд-во СибАДИ, 2004. – 191 с.

В пособии изложены основные сведения по гальванотехнике и способам электроосаждения металлов. Приведены направления использования электрохимических покрытий в условиях авторемонтного производства. Раскрыт механизм формирования их физико-механических свойств.

Представлена подробная технология устранения износа деталей хромированием, оставиванием, наращивания защитно-декоративных покрытий, электролитического цинкования и меднения. Описаны особенности конструкций и электрического питания гальванических ванн, применяемых подвесных приспособлений. Затронуты вопросы применения электролитических сплавов. Рассмотрены методики проектирования гальванических участков, теплового расчета ванн и расчета приточно-вытяжной вентиляции.

Может быть полезно техническому персоналу предприятий, занимающихся восстановлением изношенных деталей.

Табл. 12. Ил. 40. Библиогр.: 20 назв.

ISBN 5 – 93204-153-6

© В.Ф. Крылов , 2004

© Издательство СибАДИ, 2004

Введение

Ремонтное производство является необходимым условием нормального функционирования автотранспортных предприятий. Наибольшей концентрации и высокого технического уровня оно всегда достигало на специализированных авторемонтных предприятиях и ремонтных службах крупных автохозяйств.

Расходы на ремонт составляют значительную часть эксплуатационных расходов и заметно отражаются на себестоимости перевозок. Существенную долю этих расходов составляют затраты на запасные части (40–60 % от себестоимости капитального ремонта). Снизить их возможно только благодаря широкому использованию восстановленных деталей. Практикой ремонта доказано, что до 75 % изношенных деталей автомобиля могут восстанавливаться. Причем себестоимость восстановления C_v , как правило, ниже стоимости новых деталей C_n ($C_v = 0,1 \dots 0,5 C_n$). Восстановление деталей – комплекс работ, обеспечивающий возвращение им полной работоспособности по всем параметрам, гарантирующим их безотказную работу в течение установленного ресурса. Для таких работ в авторемонтном производстве нашли широкое применение многочисленные способы устранения дефектов. Среди них большое значение имеют способы электрохимического наращивания различных металлов на изношенные (дефектные) поверхности.

Технология нанесения гальванических (электрохимических, электролитических) покрытий (осадков) по своему содержанию и методам существенно отличается от доминирующих в ремонтном производстве технологий механической обработки, сварки, наплавки и химико-термической обработки. Гальванические участки даже на крупных ремонтных предприятиях невелики и обслуживаются небольшим числом работников, обладающих зачастую невысокой квалификацией. Это сказывается на качестве наращиваемых покрытий и производительности труда, тормозит дальнейшее расширение применения электролитических покрытий при ремонте автомобилей.

Одной из причин, препятствующих совершенствованию технологической дисциплины при наращивании гальванических покрытий в условиях ремонтных предприятий и служб, является недостаток литературы соответствующего уровня по этому вопросу.

Глава 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ГАЛЬВАНОТЕХНИКЕ

1.1. Сущность процесса электролитического осаждения металлов

Физические основы наращивания гальванических покрытий рассматриваются в гальванотехнике, которая является частью прикладной электрохимии. Из электрохимии известно, что молекулы солей, кислот и щелочей при растворении в воде распадаются на отдельные противоположно заряженные частицы или группы частиц. Например,

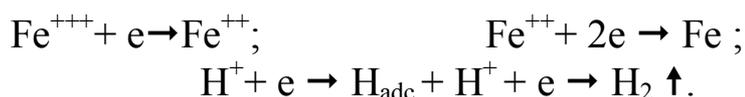


Эти частицы, имеющие положительный или отрицательный электрический заряд, называются ионами. Процесс распада веществ на ионы при растворении – электролитическая диссоциация. Растворы химических соединений, подвергающихся диссоциации, называют электролитами (проводники 2-го рода, обладающие ионной проводимостью). Количество положительно и отрицательно заряженных ионов всегда равно между собой и раствор в целом является электрически нейтральным.

Образовавшиеся в результате электролитической диссоциации ионы движутся в электролите беспорядочно, хаотически. Если же в электролит на некотором расстоянии один от другого поместить два металлических проводника (электрода), присоединить их к источнику постоянного напряжения, то под действием электрического поля между ними ионы в электролите будут двигаться направленно, а по образовавшейся цепи потечет электрический ток. При этом положительно заряженные ионы (ионы металлов и водорода) перемещаются к отрицательному электроду (катоде). Ионы, обладающие отрицательным зарядом (ионы металлоидов и кислотных остатков), движутся к положительному электроду (аноду). Достигнув поверхности электродов, ионы разряжаются, превращаясь в нейтральные атомы или группы атомов. При этом на катоде выделяются металл и водород (идет процесс электровосстановления – переход электронов от катода к положительным ионам). На аноде возможен электроокислительный процесс – переход электронов от частиц вещества к аноду (электролиз с растворимым анодом) или на его поверхности выделяется кислород

и другие газы (процесс с нерастворимым анодом). Кроме этого, на аноде и катоде происходят также дополнительные процессы: частичное восстановление ионов металла, окисление электролита, образование кислоты или воды и т.п. Электрохимический процесс, протекающий на электродах при прохождении через электролит электрического тока, называется электролизом. Характер и скорость процесса определяются составом химической среды (электролита) и катодной плотностью тока. Катодная плотность тока D_k (А/дм²) – это величина силы тока I (А), проходящего через электролит, отнесенная к площади покрытия S (дм²).

Для примера рассмотрим процессы, происходящие при электроосаждении железа из электролита, содержащего $\text{FeCl}_2 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$. Под действием электрического поля в межэлектродном пространстве ионы Fe^{++} и H^+ (катионы) движутся к катоду, а ионы Cl^- и OH^- (анионы) – к аноду (рис.1). При этом на поверхности катода протекают следующие реакции:



В зависимости от химической активности материала анода на его поверхности возможно протекание таких реакций:

- при растворимом аноде $\text{Fe} - 2e \rightarrow \text{Fe}^{++}$,
- при нерастворимом аноде $\text{Cl}^- - e \rightarrow \text{Cl} \uparrow$, $4\text{OH}^- - 4e \rightarrow \text{O}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$.

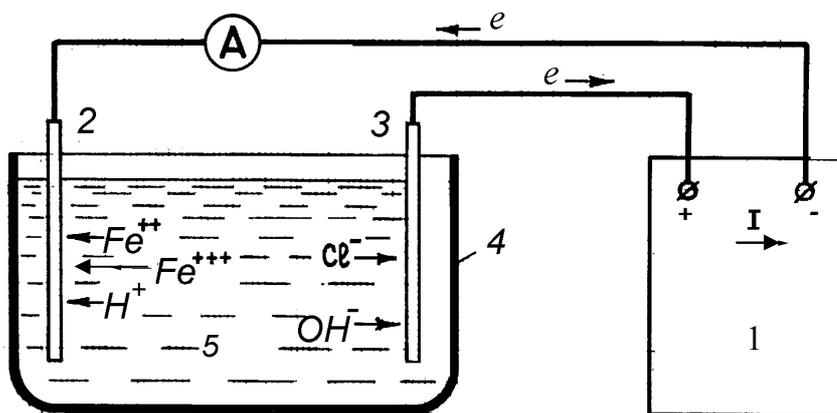


Рис.1. Схема электролиза железа из электролита, содержащего $\text{FeCl}_2 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$: 1–источник постоянного напряжения; 2–катод; 3–анод; 4–гальваническая ванна; 5–электролит

Процесс электролиза в этом случае сводится главным образом к тому, что находящиеся в электролите ионы железа разряжаются на катоде и, переходя в молекулярное состояние, осаждаются на нем в

виде мельчайших кристалликов, образуя на поверхности катода слой электролитического железного покрытия. Одновременно с этим на катоде происходит восстановление ионов Fe^{+++} до Fe^{++} и выделение водорода. Анод в процессе электролиза растворяется (электролиз с растворимым анодом), образуя новые ионы Fe^{++} взамен разрядившихся на катоде и поддерживая концентрацию их в электролите. При использовании же нерастворимого анода на его поверхности будут выделяться хлор и кислород.

Таким образом, гальванические покрытия получают путем электровосстановления металлов из водных растворов их солей, кислот и щелочей. В качестве электролита обычно применяют раствор, содержащий ионы осаждаемого металла. В него также могут вводиться другие компоненты, улучшающие свойства покрытий, увеличивающие электропроводность и рассеивающую способность электролита и т.п. Катодами при этом являются предварительно очищенные и подготовленные детали, подлежащие покрытию. Аноды могут быть растворимыми и нерастворимыми. Растворимыми анодами служат пластины (стержни) из того металла, который осаждается (железо, никель, цинк, медь). К нерастворимым анодам относятся свинцовые, угольные и платиновые электроды.

1.2. Основные законы электролиза

Явление электролиза с количественной стороны впервые было изучено Фарадеем. Им же были предложены такие термины, как электролит, электролиз, анод, катод, гальваническая ванна и др. Он сформулировал два важных закона электрохимии, названных впоследствии законами Фарадея.

Первый закон. Масса вещества, выделившегося при электролизе на катоде, прямо пропорциональна количеству электричества $I\tau$, прошедшего через раствор:

$$m_{\tau} = cI\tau, \quad (1)$$

где I – сила тока, проходящего через электролит; τ – время электролиза; c – коэффициент пропорциональности, называемый электрохимическим эквивалентом (количество вещества в граммах, которое выделяется на катоде при прохождении через электролит единицы количества электричества, г/А·ч).

Например, если при прохождении тока 10 А в течение 3 ч на катоде выделилось 32,8 г никеля, то такое же количество никеля выделится при прохождении тока 15 А в течение 2 ч или 30 А в течение 1 ч.

Второй закон. При прохождении одного и того же количества электричества через разные электролиты массы выделившихся веществ пропорциональны их эквивалентным весам:

$$m_T = aM, \quad (2)$$

где a —коэффициент пропорциональности, зависящий от величины It ; M —эквивалентный вес (масса) выделившегося вещества.

Например, эквивалентный вес двухвалентного олова равен 59,35, а двухвалентного железа – 27,92. Поэтому при прохождении через растворы железа и олова 1А·ч количества электричества масса выделившегося на катоде олова будет \approx в 2,1 раза больше, чем масса железа.

Эти законы лежат в основе всех технологических расчетов при практическом осуществлении электролиза.

Поскольку при электролизе одновременно с осаждением металла на катоде выделяется водород, а также протекают и другие побочные процессы, то действительная масса осажденного металла m_g всегда будет меньше теоретической m_T , рассчитанной по закону Фарадея.

Поэтому в гальванотехнике введено понятие катодный выход металла по току:

$$\alpha_k = 100 m_g / m_T. \quad (3)$$

Он является важнейшим показателем процесса электролиза. Физический смысл катодного выхода металла по току заключается в том, что он характеризует то количество электричества, которое затрачено на образование осадка (коэффициент использования электрического тока).

Из выражений (1) и (3) следует, что

$$m_g = 0,01 \alpha_k c I t. \quad (4)$$

1.3. Электродные потенциалы и поляризация

Одним из важных факторов, оказывающих влияние на формирование и свойства гальванических покрытий, является потенциал электрода. Известно, что при погружении металла в раствор, содержащий его ионы, начинается обмен ионами между твердой (металл) и жидкой (электролит) фазами. В результате на границе "электрод-

электролит" образуется двойной электрический слой, подобный конденсатору. Одна из обкладок такого конденсатора представляет собой поверхность металла, а другая – слой в растворе у поверхности металла. Между этими обкладками возникает разность потенциалов. Независимо от характера образующегося двойного электрического слоя (металл заряжен положительно или отрицательно) устанавливается равновесие между металлом и раствором его соли. Потенциал, соответствующий этому состоянию, называется равновесным.

Значение его зависит от концентрации соли металла в растворе. Чтобы сравнить равновесные электродные потенциалы разных металлов, условились определять их в растворах собственных ионов, активность которых составляет 1 моль-ион/л. Такие потенциалы назвали нормальными (стандартными).

Непосредственно измерить значение нормального потенциала невозможно. Но можно измерить разность потенциалов между двумя электродами, при этом потенциал одного из них условно принять за нуль. За нуль приняли потенциал нормального водородного электрода, который получается при погружении платиновой пластинки в серную кислоту, через которую пропускают струю водорода. Измеренная таким образом разность потенциалов представляет собой нормальный потенциал данного металла.

Металлы, размещенные в порядке возрастания их нормальных потенциалов, образуют электрохимический ряд напряжений (табл.1). По нему можно характеризовать химическую активность и поведение металлов в электрохимических процессах. Если нормальный потенциал металла отрицателен, то такой металл называют электроотрицательным, если же нормальный потенциал положителен, то металл электроположителен.

Электроотрицательные металлы способны вытеснять водород из растворов. Каждый металл может восстанавливать из водных растворов другие металлы с более положительным потенциалом. Например, при погружении стали в раствор медного купороса железо переходит в раствор, а медь выделяется из раствора, осаждаясь на стальном электроде (контактное осаждение меди).

Прохождение электрического тока от внешнего источника через границу "электрод–электролит" изменяет строение и состояние двойного электрического слоя. При этом изменяется и потенциал электрода по сравнению с равновесным (он становится более электроотрицательным). Отклонение потенциала электрода от равновесного значе-

ния под влиянием протекающего тока называется перенапряжением или поляризацией (катодной или анодной).

Таблица 1

Электрохимический ряд напряжений некоторых металлов

Металл	Химическое обозначение ионов	Нормальный потенциал, В	Металл	Химическое обозначение ионов	Нормальный потенциал, В
Алюминий	Al^{3+}	-1,66	Олово	Sn^{2+}	-0,14
Марганец	Mn^{2+}	-1,10	Свинец	Pb^{2+}	-0,13
Цинк	Zn^{2+}	-0,76	Водород	H^+	0,00
Хром	Cr^{3+}	-0,71	Медь	Cu^{2+}	+0,34
Железо	Fe^{2+}	-0,44	Медь	Cu^+	+0,52
Кадмий	Cd^{2+}	-0,40	Серебро	Ag^+	+0,80
Кобальт	Co^{2+}	-0,28	Золото	Au^{3+}	+1,42
Никель	Ni^{2+}	-0,25	Золото	Au^+	+1,69

Величина поляризации определяется различными затруднениями протеканию электрохимических реакций на электродах и возникновением в гальванической ванне внутренней электродвижущей силы, направленной противоположно подведенному к штангам ванны напряжению (противоЭДС). Различают концентрационную и химическую поляризации. Концентрационная возникает в результате обеднения прикатодного слоя катионами металла (убыль ионов металла из двойного слоя за счет разряда на катоде). Пополнение прикатодного слоя ионами металла происходит путем диффузии, конвекции и миграции. Но скорости этих процессов значительно ниже скорости восстановления катионов, и в прикатодном слое возникают концентрационные ограничения. Химическая поляризация – результат замедленного протекания электрохимических реакций (разряда ионов и образования новых веществ). Поляризация является одним из существенных показателей процесса электролитического наращивания металла. Она зависит от: природы осаждаемого металла; состава, температуры и состояния электролита; вида электрического тока и величины параметров, характеризующих режим электрического питания.

1.4. Механизм формирования электролитических осадков

Под действием потенциала поляризации на катоде формируется осадок металла. Ионы его, прежде чем занять места на катодной поверхности, проходят ряд последовательных процессов: перемещение к катоду, освобождение от гидратной оболочки, разряд на катоде и включение разрядившихся ионов (атомов) в кристаллическую решетку. Процесс перехода атомов металла в кристаллическое состояние называют электрокристаллизацией. Она протекает в условиях, отличных от кристаллизации из расплавленного состояния. Электрокристаллизация складывается из двух одновременно протекающих процессов: образования центров кристаллизации (кристаллических зародышей) и роста этих центров (кристаллов). Каждый из них происходит с определенной скоростью, зависящей от условий электролиза. В зависимости от соотношения скоростей образования центров кристаллизации и роста кристаллов изменяются структура покрытий и их физико-механические свойства. Преобладание первого процесса сопровождается образованием мелкокристаллической структуры. При втором получаются крупнокристаллические покрытия. Установлено, что скорость образования зародышей возрастает с увеличением потенциала поляризации. Чем выше поляризация катодов, тем больше вероятность возникновения на энергетически менее активных участках их поверхности новых кристаллических зародышей.

Включение разрядившихся ионов в кристаллическую решетку электролитического покрытия может происходить различным образом. При этом с энергетической точки зрения возможности отдельных атомов в силу различных причин оказываются неравноценными. В результате рост кристаллов металла происходит не непрерывно, а периодически слоями. Толщина, форма и распространение этих слоев зависят от большого числа факторов (состав и состояние электролита, непостоянство во времени тока питания, пассивация отдельных участков формирующегося осадка, изменение формы роста слоев и т.д.).

На структуру и свойства гальванических покрытий большое влияние оказывает разряжающийся одновременно с ионами осаждаемого металла водород. Стандартные потенциалы большинства металлов, используемых для получения гальванических покрытий, отрицательнее потенциала водорода. Казалось бы, они вообще не должны осаждаться из растворов своих солей. Однако на практике происходит обратное. Это объясняется тем, что при электролизе потенциал выде-

ления водорода смещается в отрицательную сторону и становится возможным преимущественный разряд ионов осаждаемого металла. Это явление в гальванотехнике получило название *перенапряжение выделения водорода*. Оно зависит от природы металла катода, состояния его поверхности, температуры электролита, плотности тока, кислотности электролита.

Совместное с основным металлом выделение водорода на катоде следует рассматривать как отрицательное явление, так как выделяющийся водород не только уменьшает выход металла по току и увеличивает затраты электроэнергии, но и, внедряясь в осаждаемый металл, ухудшает свойства покрытий (может вызывать явление водородной хрупкости при знакопеременных нагрузках).

При электролизе из кислых электролитов разряд ионов водорода на катоде вызывает уменьшение их концентрации в прикатодном слое. Это явление называют подщелачиванием прикатодного слоя. Оно может достигать такого значения, при котором начинается образование гидроокисей металла. Они практически нерастворимы, принимают форму коллоида или выделяются в виде рыхлых хлопьев. Адсорбируясь на катодной поверхности, механически встраиваясь в растущий на катоде осадок, гидроокиси ухудшают его механические свойства. Особенно это характерно для процессов осталивания и никелирования. Наконец, пузырьки водорода, прилипая к катоду, экранируют его поверхность и служат причиной образования пор, неровностей и непокрытых мест. Поэтому поддержанию кислотности электролита в необходимых пределах на практике уделяют особое внимание.

1.5. Скорость электроосаждения металла

Важной характеристикой любого способа наращивания металла на изношенные поверхности деталей является его производительность. В нашем случае это скорость электроосаждения металла V_o . Она зависит от физической природы осаждаемого металла и металла катода (детали), технологических факторов процесса электролиза и равна

$$V_o = c \alpha_K D_K / (1\ 000 \gamma), \quad (5)$$

где γ – плотность наращиваемого металла.

Из этого выражения следует, что скорость осаждения металла является функцией двух аргументов: α_K и D_K . Причем α_K в значитель-

ной степени определяется D_K (при постоянных условиях электролиза). Поэтому увеличение V_o достигается в основном применением больших рабочих плотностей тока. Однако повышение D_K возможно только до определенного предела, выше которого происходит (по ниже-следующим причинам) резкое ухудшение качества осадка.

Электролитическое выделение металла сопровождается расходом ионов (катионов) металла и водорода из слоя электролита, непосредственно примыкающего к поверхности катода (из прикатодного слоя). При высоких D_K скорость восстановления катионов настолько большая, что их убыль не успевает восполняться за счет притока из окружающего электролита. Нормальный рост кристаллов затрудняется и получаемые покрытия становятся некомпактными (появляются дендриты, сильная шероховатость и пр.), а иногда и рыхлыми. В то же время возможность образования гидроокиси приводит к получению неработоспособных покрытий. Максимальная скорость осаждения металла в любом случае ограничивается возможностью наращивания мелкокристаллических, плотных, компактных (работоспособных) осадков. Решающее влияние на их формирование оказывает концентрация катионов металла и водорода в прикатодном слое.

Таким образом, предельная катодная плотность тока обусловлена концентрационными ограничениями. Эти ограничения являются следствием малой скорости диффузии (конвекции, миграции) катионов из объема электролита в прикатодный слой. В настоящее время практике известны такие способы снижения этих концентрационных ограничений:

- перемешивание электролита (механическое, магнитное, воздухом, ультразвуком);
- движение всего объема электролита вдоль восстанавливаемой поверхности (проточное электроосаждение);
- движение электролита перпендикулярно восстанавливаемой поверхности (анодно-струйное электроосаждение);
- применение нестационарных электрических режимов питания гальванической ванны.

Доказано, что эти технологические приемы позволяют ускорить поступление катионов в прикатодный слой и в результате значительно увеличить скорость электроосаждения металла.

1.6. Распределение покрытия на катоде

Одно из требований, предъявляемых к гальваническим покрытиям, – равномерная толщина их по всей поверхности детали. Однако получение равномерных покрытий связано с определенными трудностями. Эти трудности обусловлены объемным характером электропроводности электролита и возникновением краевого эффекта (силовые линии концентрируются на углах, кромках детали и даже огибают её). В результате электрический ток распределяется по поверхности катода неравномерно.

Это явление становится причиной неравномерного формирования покрытия по поверхности катода. На краях (углах, кромках) детали толщина покрытия обычно больше, чем в средней её части. Неравномерность тем выше, чем сложнее конфигурация детали (наличие больших выступов и углублений). В результате приходится увеличивать среднюю расчетную толщину покрытия, что приводит к увеличению времени наращивания, дополнительному расходу электроэнергии и материалов. Особое значение неравномерность имеет при наращивании защитно-декоративных покрытий.

Свойство электролита обеспечивать равномерное по толщине покрытие называется рассеивающей способностью электролита. Она зависит от природы электролита, его температуры и удельного сопротивления, величины катодной поляризации, плотности тока, геометрических размеров гальванической ванны, взаимного расположения катода и анода и расстояния между ними.

На практике для обеспечения равномерности гальванических покрытий применяют следующие приемы:

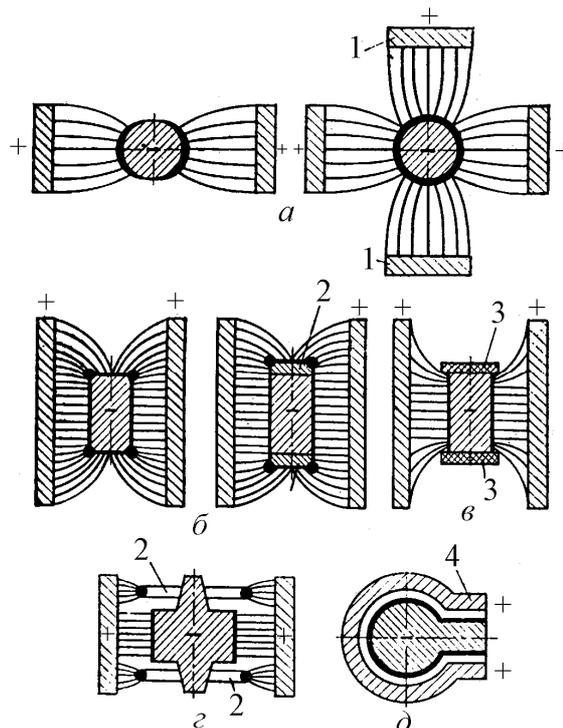


Рис. 2. Приемы улучшения равномерности гальванических покрытий установкой: *a* – дополнительных анодов; *б* и *г* – дополнительных катодов; *в* – неметаллических экранов; *д* – фигурных анодов; *1* – дополнительные аноды; *2* – дополнительные катоды; *3* – экраны; *4* – фигурный анод.

а) устанавливают дополнительные (рис. 2, а) и фигурные аноды, примерно повторяющие форму восстанавливаемых поверхностей (рис. 2, д);

б) используют дополнительные катоды (рис. 2 б, з), предохраняющие выступающие участки и кромки деталей от образования наростов, дендритов;

в) применяют неэлектропроводные экраны, отсекающие силовые линии и снимающие краевой эффект (рис. 2, в);

г) увеличивают расстояние между деталями и анодами.

1.7. Защита деталей от коррозии

Коррозия – это процесс разрушения металлов при их физико-химическом взаимодействии с окружающей средой (переход части металла в ионное состояние с образованием окислов, солей или растворение металла). Она причиняет огромный ущерб народному хозяйству, вызывая отказы машин, оборудования и приводя к безвозвратным потерям металла. Наиболее интенсивно коррозионному разрушению подвергаются черные металлы – сталь и чугун. Цветные металлы и высоколегированная сталь весьма устойчивы в атмосферных условиях и агрессивных средах.

По механизму протекания различают химическую и электрохимическую коррозии. При химической коррозии процесс разрушения металла происходит в неэлектролитах (масло, бензин, дизельное топливо) и сухих газах (отработавшие газы двигателя) без возникновения электрического тока. Электрохимическая коррозия развивается при воздействии на металл электропроводной среды (электролита). Она сопровождается появлением электрического тока и рассматривается как процесс разрушения металла, вызванный действием большого количества микроэлементов (гальванических пар). Электрохимическая коррозия встречается чаще всего и наиболее опасна для металлов. Скорость коррозии зависит от влажности, температуры, агрессивности среды, а также от состава металла и состояния его поверхности. Чем меньше шероховатость поверхности, тем меньше она корродирует. Одним из эффективных методов защиты деталей от коррозии является применение гальванических покрытий, которые по характеру защиты металла от коррозии разделяют на анодные и катодные.

Анодными являются такие, у которых стандартный электродный потенциал в данных условиях эксплуатации более отрицателен, чем

потенциал защищаемого металла. Анодные покрытия защищают металл электрохимически. Если на покрытии имеются царапины и поры, достигающие до металла детали, то при наличии влаги и растворенных в ней солей в них может образоваться раствор электролита. При контакте двух различных металлов, находящихся в жидкой электропроводной среде, за счет возникающей разности электродных потенциалов начинает работать гальванический микроэлемент. В нем катодом будет металл детали (например, сталь), а анодом – материал гальванического покрытия (например, цинк). Обладая более электроотрицательным потенциалом (см. табл.1), анод будет растворяться, а металл детали предохраняется от разрушения (рис. 3).

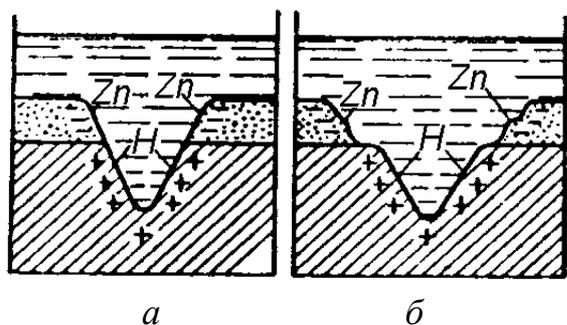


Рис. 3. Схема коррозии анодного покрытия: *а* – начало коррозии; *б* – результат коррозии

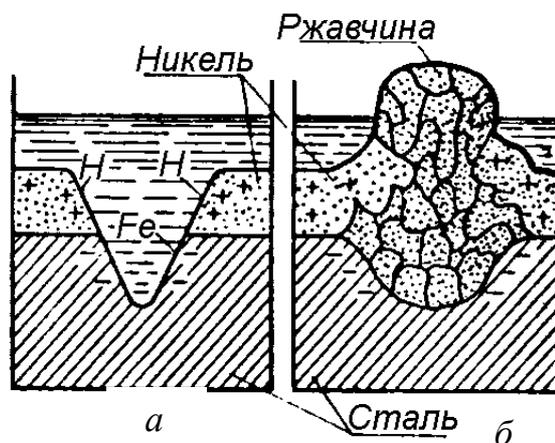


Рис. 4. Схема коррозии катодного покрытия: *а* – начало коррозии; *б* – результат коррозии

К катодным относятся гальванические покрытия, у которых стандартный электродный потенциал в данных условиях эксплуатации более положителен, чем потенциал металла детали. Катодные покрытия обеспечивают только механическую защиту от коррозии, т.е. покрытие хорошо предохраняет металл детали только до тех пор, пока оно будет сплошным и не нарушится его слой. При нарушении сплошности слоя образуется гальваническая пара, в которой анодом будет являться металл детали. В результате реакций электроокисления анод начинает разрушаться, что приводит к вспучиванию и отслаиванию покрытия (рис. 4). По отношению к стали катодными покрытиями являются осадки никеля, хрома, олова, меди и др. (см. табл. 1). Их высокая химическая стойкость и хорошие механические свойства обуславливают широкое практическое применение.

Анодные и катодные гальванические покрытия, применяемые для защиты металла детали от коррозии в реальных условиях эксплуатации, считаются защитными.

В промышленности для защиты от коррозии используются кадмиевые покрытия. Защитные свойства их во многом зависят от условий эксплуатации. Это объясняется близкими стандартными электродными потенциалами кадмия и железа (см. табл. 1). Эти потенциалы могут изменяться в зависимости от окружающей среды, в результате чего характер защиты стали кадмием также меняется. Так, в морской воде и атмосфере, насыщенной морскими испарениями, кадмий электрохимически защищает стальные детали (анодное покрытие). В условиях обычной промышленной атмосферы и в пресной воде кадмиевые покрытия становятся катодными (обеспечивают только механическую защиту). Кадмиевые покрытия дороже цинковых и материалы для их наращивания более дефицитны.

В качестве защитно-декоративных покрытий в ремонтном производстве часто используют текстурированные цинковые, тонированные никелевые и медные покрытия. Широко применяются также оксидные и фосфатные пленки (оксидирование, фосфатирование), обладающие хорошими декоративными и защитными свойствами.

Контрольные вопросы

1. Какие растворы являются электролитами?
2. В чем заключается сущность процесса электролиза?
3. Назовите электрохимические реакции, происходящие на катоде и аноде.
4. Напишите формулы, отражающие законы Фарадея.
5. Что характеризует катодный выход металла по току?
6. Каков механизм формирования электролитических осадков?
7. Что такое поляризация электродов и какая она бывает?
8. Объясните влияние водорода на свойства гальванических покрытий.
9. От чего зависит скорость электроосаждения металла?
10. Приведите приемы улучшения равномерности электролитических покрытий.
11. В чем заключается сущность электрохимической коррозии?
12. Каково различие между анодными и катодными защитными покрытиями?

Глава 2. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ НАРАЩИВАНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

2.1. Покрyтия, применяемые в ремонтном производстве

В условиях авторемонтного производства гальванические покрытия применяют для:

- а) восстановления размеров изношенных поверхностей деталей (Cr, Fe, Ni, сплавы);
- б) повышения износостойкости рабочих поверхностей деталей и исправления брака механической обработки (Cr, Fe, сплавы);
- в) защиты деталей от коррозии (Cu, Zn, Cd);
- г) в качестве защитно-декоративных покрытий (Cu, Ni, Cr, Zn);
- д) защиты от цементации (Cu);
- е) улучшения термостойкости и коррозионной стойкости деталей (Cr, сплавы);
- ж) повышения отражательной способности рефлекторов фар, подфарников и фонарей (Cr, Ni, Ag);
- з) улучшения прирабатываемости трущихся поверхностей (Cu, Sn, сплавы);
- и) получения антифрикционных покрытий (сплавы на основе Cu, Sn, Zn).

Указанные направления использования электролитических покрытий свидетельствуют о занятии ими важного места в комплексе технологических процессов ремонта автомобилей. Роль их в ремонтном производстве постоянно возрастает, особенно это относится к восстановлению размеров деталей. Этому способствует ряд их преимуществ перед другими способами наращивания металла. Основными из них являются:

- отсутствие термического воздействия на деталь, в связи с чем исключается возможность коробления или изменения свойств металла детали;
- свойства гальванического покрытия можно точно регулировать путем изменения условий электроосаждения и возможно наращивать покрытия с заданными непостоянными по толщине физико-механическими свойствами;
- возможно наращивать тонкие (в пределах нескольких мкм) слои металла, что снижает расход используемых материалов;

- получение с большой точностью заданной толщины покрытия позволяет снизить до минимума припуск на последующую механическую обработку, а соответственно и трудоемкость её выполнения;
- затраты труда на единицу продукции значительно снижаются за счет одновременного наращивания металла на несколько деталей (в гальваническую ванну возможно загрузить десятки деталей) и организации многованнового обслуживания на гальваническом участке;
- возможность направленного изменения свойств покрытий с преимущественным развитием одного из них (износостойкости, антифрикционности, термостойкости, коррозионной стойкости, прирабатываемости и т.д.) за счет изменения режима электроосаждения и легирования покрытия.

Работоспособность деталей, восстанавливаемых (или защищаемых) гальваническими покрытиями, обычно оценивают по таким их эксплуатационным свойствам, как **прочность сцепления** покрытия с металлом детали, **износостойкость** восстановленных поверхностей (при абразивном, гидроабразивном, эрозионном, кавитационном, окислительном и других видах изнашивания), **усталость** восстановленной детали (ударная, контактная, термическая, при кручении, при изгибе и т.п.), **пористость** наращенного осадка. Естественно, эти эксплуатационные свойства восстановленной детали зависят от технологических факторов всей совокупности операций технологического процесса электролитического осаждения металла, тщательности их выполнения. Но тем не менее определяющей в технологии является операция "наращивание покрытия", при которой происходит формирование осадка металла и его физико-механических свойств. В силу этого необходимо рассмотреть физические основы этой операции и факторы, характеризующие её выполнение.

2.2. Технологические факторы процесса электроосаждения

Электролитическое покрытие – продукт электролиза, происходящего в гальванической ванне, которая является электрохимической системой. Полезная работа по формированию покрытия совершается в химической среде ванны под действием электрического тока. Поэтому все основные технологические факторы, характеризующие работу такой электрохимической системы, можно разделить на условия электролиза и режим электрического питания.

В общем случае к условиям электролиза относятся:

- концентрация в электролите соли металла [Me], г/л;
- кислотность (щелочность) электролита – содержание в электролите кислоты (щелочи) [K], г/л или pH;
- содержание в электролите различных добавок [ДБ], г/л;
- температура электролита $t, ^\circ\text{C}$;
- состояние электролита (без перемешивания или с перемешиванием).

Эти условия характеризуют состав и состояние химической среды (электролита) гальванической ванны.

В гальванотехнике при приготовлении электролита, как правило, используют дистиллированную воду. Она считается слабым электролитом, так как лишь незначительно диссоциирует на ион водорода H^+ и ион гидроксидов OH^- . Концентрация ионов водорода $[\text{H}^+]$ и гидроксидов $[\text{OH}^-]$ в дистиллированной воде одинакова:

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7}.$$

Поэтому дистиллированная вода считается нейтральной средой. Носителями кислотных свойств в ней являются ионы H^+ , щелочных – OH^- . При добавлении в воду кислоты увеличивается $[\text{H}^+]$ и раствор становится кислым. При добавлении в воду щелочи происходит обратное явление. Однако во всех случаях произведение концентраций ионов водорода и гидроксидов (ионное произведение воды) при 25°C остается постоянным и равным

$$[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-7} \cdot 10^{-7} = 10^{-14}.$$

Таким образом, мерой кислотности электролитов является концентрация водородных ионов. Для удобства в гальванотехнике принято кислотность или щелочность электролита выражать с помощью водородного показателя, который обозначается pH и равен показателю знаменателя дроби, показывающей концентрацию водородных ионов в растворе, взятому с обратным знаком:

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}.$$

Другими словами, pH раствора – отрицательный логарифм концентрации водородных ионов в растворе:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+].$$

Количественные значения его лежат в пределах от 1 до 14.

В нейтральной среде $\text{pH} = 7$, в кислом электролите $\text{pH} < 7$, в щелочном – $\text{pH} > 7$.

В производственных условиях для приблизительного определения pH электролита применяют индикаторную бумагу. Это отрывные полоски фильтровальной бумаги, пропитанные индикаторным рас-

твором. Сравнительная (эталонная) шкала окрашена в цвета, соответствующие определенным значениям рН от 1 до 14. Весь набор изготавливается в виде карманной книжки. Для определения кислотности отрывают одну полоску индикаторной бумаги, погружают в раствор и сравнивают окрасившуюся индикаторную бумажку с окраской эталонов.

Более точное определение рН электролитов производят специальными приборами – рН-метрами (типа рН-262 и др.). В них для измерения величины рН используется система со стеклянным электродом, электродвижущая сила которой зависит от активности (концентрации) ионов H^+ в растворе.

Для примера на рис. 5 приведены основные технологические факторы операции "осаждения железа" (технология восстановления деталей осталиванием).

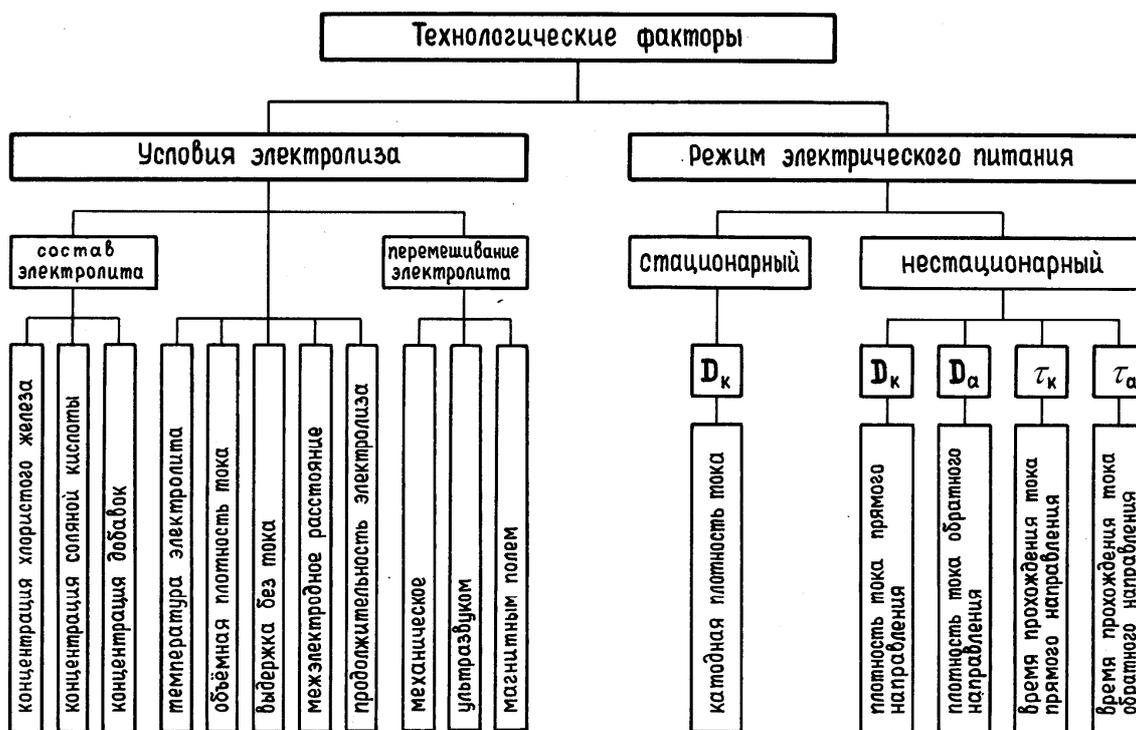


Рис.5. Основные технологические факторы операции "осаждения железа"

Режим электрического питания гальванической ванны может быть стационарным (постоянство величины и направления тока во времени) или нестационарным (непостоянство величины и направления тока во времени). В каждом конкретном случае количество управляющих параметров определяется видом (формой) электрического тока. Так, стационарный режим электрического питания задает-

ся катодной D_K (или анодной D_a) плотностью тока. Нестационарный режим электрического питания в общем случае может задаваться четырьмя параметрами:

- катодной плотностью тока D_K (плотность тока прямого направления);
- анодной плотностью тока D_a (плотность тока обратного направления);
- временем прохождения тока прямого направления τ_k ;
- временем прохождения тока обратного направления τ_a .

Естественно, в каждом конкретном случае полный перечень технологических факторов должен отражать особенности процесса электролитического наращивания того или иного металла.

2.3. Структура и микротвердость гальванических покрытий

Условия электролиза, режим электрического питания оказывают решающее влияние на комплекс физико-механических свойств электролитических осадков (структуру, микротвердость, внутренние напряжения, антифрикционность, пластичность, износостойкость, усталостную прочность, термостойкость и др.), из которых определяющей является структура. Чем она плотнее и мельче, тем выше механические и защитные свойства гальванических покрытий.

Структура электролитических покрытий оценивается размером кристаллов (крупно-, мелкокристаллическая), формой кристаллов (волокнистая, столбчатая), пористостью (трещиноватостью) и слоистостью.

При электроосаждении металла происходит по различным причинам деформация его кристаллической решетки и в формируемом покрытии возникают внутренние напряжения растяжения $\sigma_{вн}$. Эти напряжения могут достигать больших величин, превышающих прочность на разрыв самого металла $\sigma_{раз}$. В этом случае ($\sigma_{вн} > \sigma_{раз}$) в покрытии появляются трещины (микропоры). Чем больше напряжения, тем чаще и мельче трещины. По количеству и размеру микропор в поперечном сечении электролитические осадки можно разделить на беспористые (мягкие), крупнопористые (средней твердости), мелкопористые (твердые) и слоистые (неработоспособные) (рис . 6).

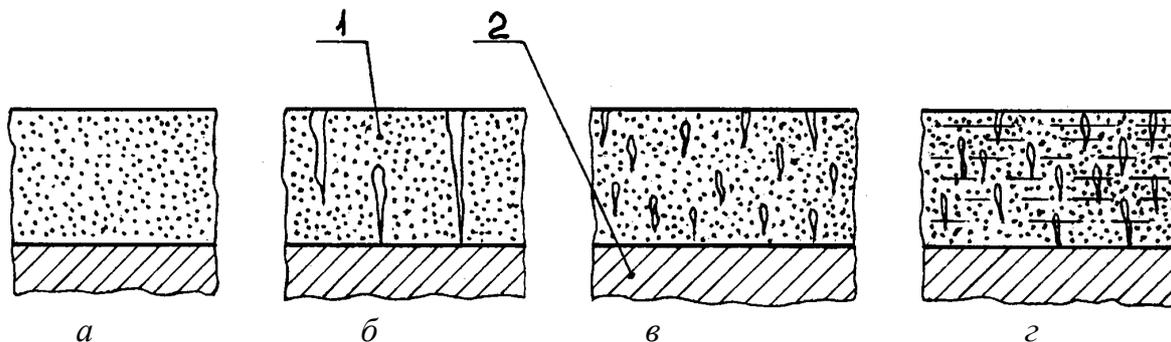


Рис. 6. Структура гальванических покрытий: *а* – беспористая; *б* – крупнопористая; *в* – мелкопористая; *г* – слоистая; 1– электролитическое покрытие; 2– металл детали

Беспористые (крупнокристаллические) покрытия используют в целях защиты деталей от коррозии (покрытия меди и цинка). Крупнопористые осадки для устранения износа деталей применять не рекомендуют по следующей причине. При знакопеременной нагрузке сквозная трещина в покрытии (концентратор напряжений) способна перейти в металл детали, что приведет к ее поломке. В целях устранения износа деталей обычно используют мелкопористые (мелкокристаллические) покрытия хрома, никеля, железа и различных сплавов. Электролитические покрытия слоистой структуры для восстановления деталей применять также не рекомендуют, так как они способны выкрашиваться (особенно при контактных нагрузках) и не обеспечивают гарантированной работоспособности деталей.

Возможность возникновения трещин (микропор) зависит от природы осаждаемого металла и технологических факторов процесса электроосаждения. Влияние последних на трещиноватость покрытий хрома и железа показано на рис. 7, 8.

Наличие и характер трещин имеют как положительное, так и отрицательное значение. Если покрытие применяют для защиты металла от коррозии, то трещины всегда нежелательны, так как снижают его защитные свойства. Если же покрытие используют для восстановления изношенных поверхностей деталей, работающих в условиях трения скольжения при недостаточной смазке, то трещины способны накапливать в себе масло и повышать износостойкость сопряжения.

В то же время они являются концентраторами напряжений и обуславливают снижение (на 10–65 %) усталостной прочности деталей, восстановленных гальванопокрытиями. Причем наибольшее снижение дают крупнопористые осадки. Наименьшее же снижение усталостной прочности вызывают покрытия с развитой сеткой мелких трещин, так как возникающие в них внутренние напряжения реализуются в микрообъемах, не приводя к образованию опасных концентраторов напряжений. Поэтому наиболее ценными техническими свойствами обладают мелкопористые покрытия с развитой сеткой микротрещин.

Важной характеристикой свойств электролитических осадков является их твердость, которая наиболее доступна для изучения и тесно связана с другими свойствами. Твердость гальванических покрытий выражают через величину микротвердости H_{μ} (кгс/мм²). Микротвердость – твердость, определяемая методом статистического вдавливания алмазной пирамиды под малыми нагрузками (от 0,02 до 2 Н), обеспечивающими микроскопические размеры отпечатка (методы Бринеля, Роквелла, Виккерса применять затруднительно – малая толщина покрытия). Микротвердость определяется на приборах типа ПМТ-3 по ГОСТ 9450–76.

По ней можно судить о структуре, внутренних напряжениях, пористости и с некоторым приближением об износостойкости осадков. В то же время она является основным критерием качества гальванических покрытий в производственных условиях. Общность механизма влияния основных технологических факторов процесса электролиза различных металлов на микротвердость осадков позволяет констатировать такие характерные закономерности её изменения.

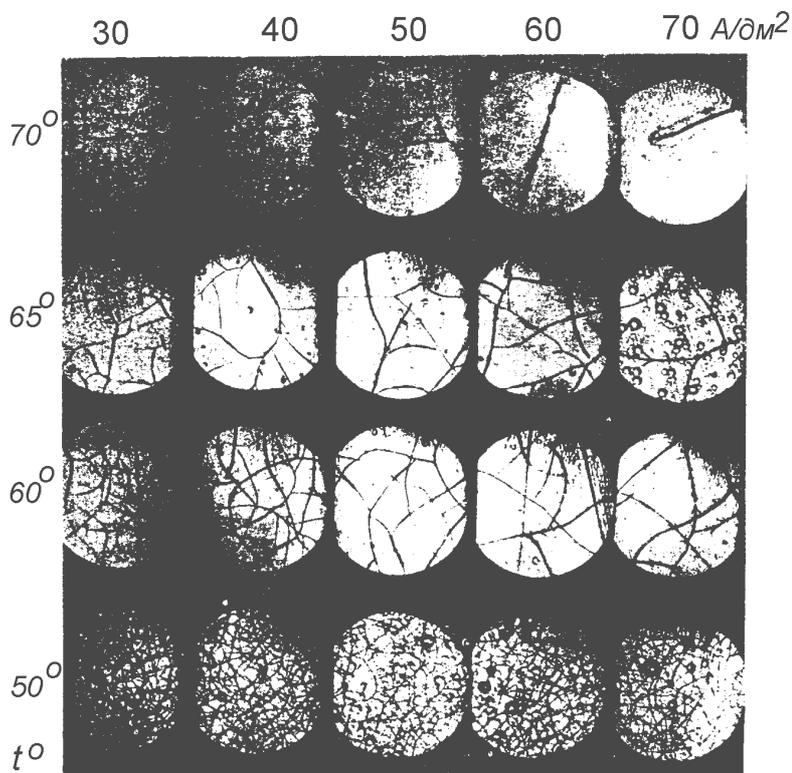


Рис. 7. Изменение трещиноватости хромовых покрытий

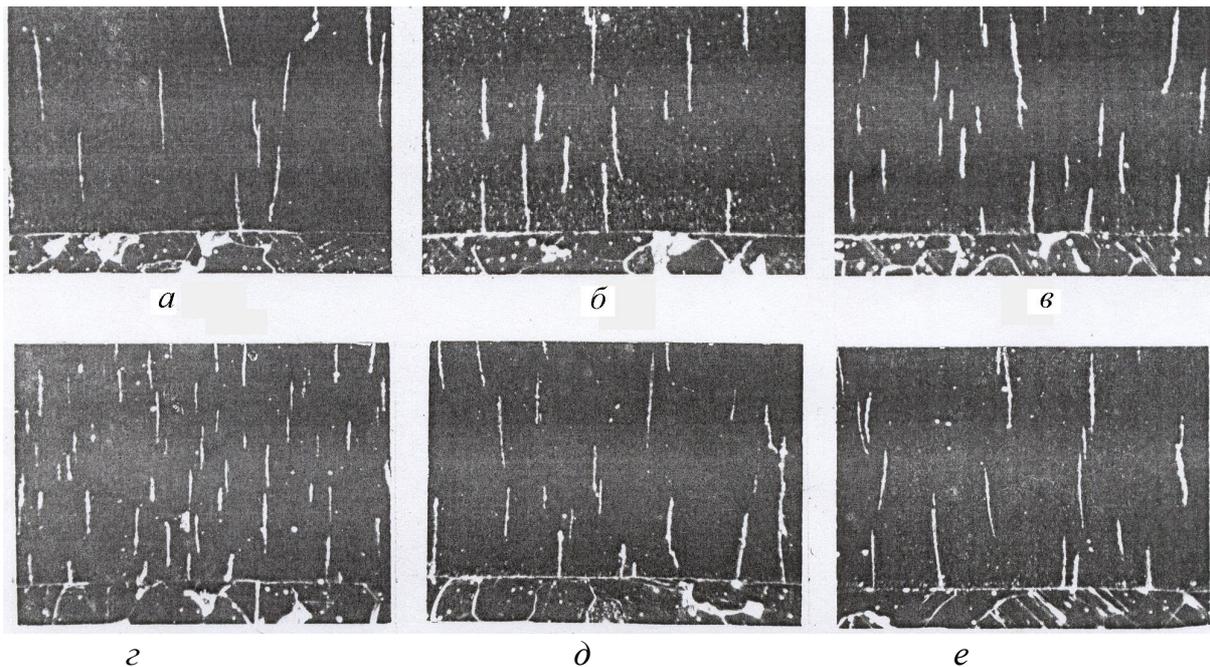


Рис. 8. Влияние технологических факторов на структуру электролитического железа (X290): *a, б, в* – $t = 75\text{ }^\circ\text{C}$; *г, д, е* – $t = 60\text{ }^\circ\text{C}$; *a, г, д* – $D_K = 30\text{ А/дм}^2$; *б* – $D_K = 40\text{ А/дм}^2$; *в* – $D_K = 50\text{ А/дм}^2$; *е* – $D_K = 20\text{ А/дм}^2$; *a, б* – $\text{HCl} = 2\text{ г/л}$; *в, д* – $\text{HCl} = 3\text{ г/л}$; *г* – $\text{HCl} = 1\text{ г/л}$; *е* – $\text{HCl} = 4\text{ г/л}$

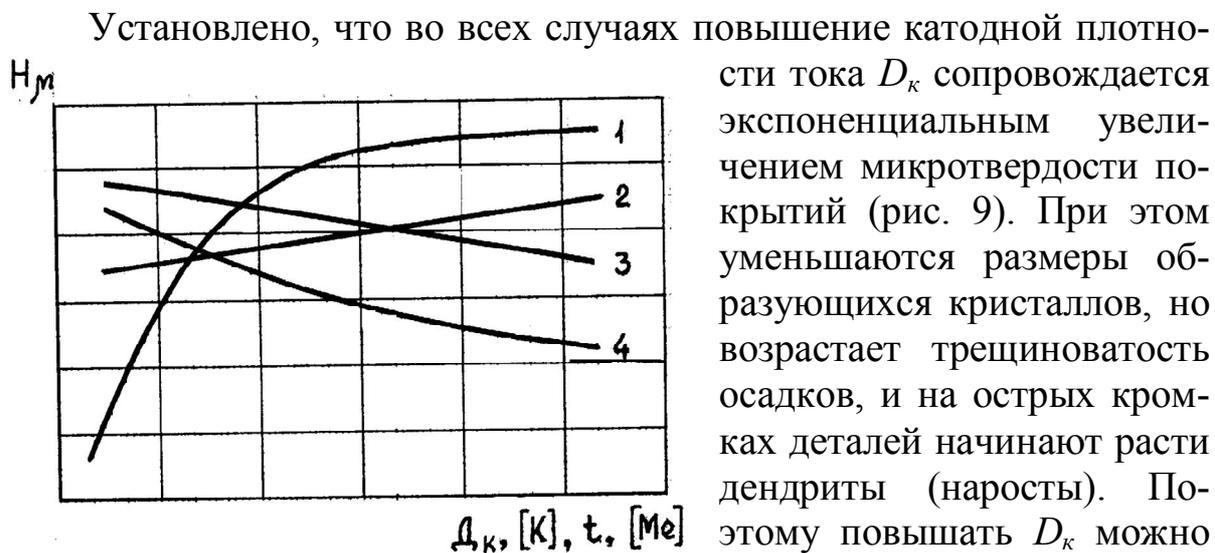


Рис. 9. Зависимость микротвердости H_μ гальванических покрытий от: 1–катодной плотности тока; 2–содержания в электролите кислоты; 3–концентрации соли металла; 4–температуры электролита

тролита, тем при меньшей D_k наступают указанные явления, то есть тем меньше допустимая катодная плотность тока.

Снижение кислотности электролита [К] ухудшает качество покрытий: они становятся хрупкими и шероховатыми. Это объясняется тем, что при пониженной кислотности в прикатодном слое образуются гидраты окислов металлов, которые включаются в покрытие и обуславливают формирование слоистой структуры. Особенно заметно влияние кислотности электролита на структуру и свойства покрытий железа и никеля. В общем случае с увеличением [К] возрастает микротвердость осадков (за счет их более интенсивного наводораживания).

Увеличение температуры t и концентрации металла [Me] в электролите ведет к пропорциональному снижению микротвердости (см. рис. 9). Причем t оказывает более сильное влияние, чем [Me]. При одном и том же значении D_k низкая температура электролита приводит к формированию мелкокристаллических, хрупких осадков с большим количеством дефектов. Возрастание t вызывает снижение концентрационных ограничений в прикатодном слое и, как следствие, рост более крупных кристаллов. Осаждаемые покрытия имеют при этом меньшие внутренние напряжения и микротвердость.

Такой характер изменения микротвердости, трещиноватости (и других свойств) электролитических осадков в зависимости от технологических факторов процесса наращивания присущ вообще всем гальваническим покрытиям.

Свойства гальванических покрытий, применяемых в ремонтном производстве, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства гальванических покрытий

Покрытие	Температура плавления, °С	Микротвердость, кгс/мм ²	Скорость осаждения, мм/ч
Хром	1890	750...920	0,02...0,03
Железо	1535	400...620	0,2...0,4
Никель	1450	200...700	0,07...0,09
Цинк	470	50...60	0,02...0,05
Медь	1085	60...150	0,05...0,07

2.4. Выполнение технологических расчетов

На практике при осаждении гальванических покрытий приходится определять площадь покрываемой поверхности, длительность процесса осаждения и потребную для его осуществления величину тока (загрузку гальванических ванн по току). Кроме того, при восстановлении деталей возникает необходимость в определении толщины покрытия, которое нужно нарастить на изношенную поверхность.

Площадь покрываемой поверхности S_{δ} (дм²) вычисляют по данным чертежа или определения размеров детали. При этом учитываются только поверхности, подлежащие покрытию. Поверхности же, не требующие наращивания покрытия, изолируются и в расчет не входят. В зависимости от геометрической формы покрываемой поверхности (цилиндр, конус, плоскость, кольцо и т.д.) формулы для расчета S_{δ} будут различны.

В ремонтном производстве чаще всего приходится иметь дело с деталями (или их элементами) цилиндрической формы. В этом случае S_{δ} равна

$$S_{\delta} = \pi d_{\delta} \cdot \ell, \quad (6)$$

где ℓ —длина детали (или её части); d_{δ} —средний диаметр изношенной поверхности детали.

Диаметр d_{δ} рассчитывается из выражения

$$d_{\delta} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 d_i, \quad (7)$$

где d_i —величины диаметров, замеренные в трех поясах цилиндрической поверхности и в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях (рис. 10). Результаты замеров записываются в прил. 1.

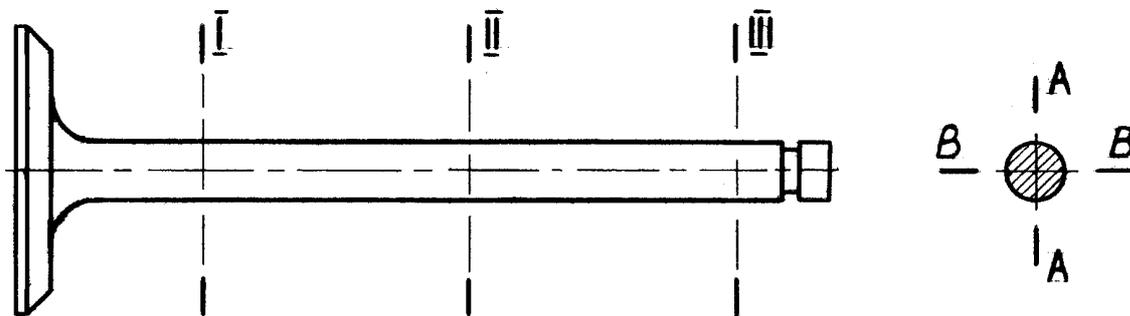


Рис.10. Схема замеров диаметра цилиндрической поверхности стержня клапана: I, II, III – пояса замеров; А-А, В-В – плоскости замеров

Поверхность детали сложной конфигурации условно разделяют на более простые элементы, площади которых S_i вычисляют отдельно. Общая площадь покрытия детали в этом случае определяется суммированием:

$S_{\sigma} = \sum_1^i S_i$. Участки поверхности, имеющие неправильную форму, приближенно приравнивают к простым правильным фигурам – цилиндру, кругу, прямоугольнику, призме и т.п. Поверхностью слишком малых участков (фасок, галтелей и пр.) пренебрегают.

Так, площадь покрытия болта S_{σ} (дм²) можно представить как сумму площадей покрытия нарезанной (резьбовой) и ненарезанной (без резьбы) частей болта, торца головки, опорной поверхности головки, торца стержня болта граней головки (рис. 11) и определить её из выражения

$$S_{\sigma} = 0,785 \cdot (A \cdot d_p \ell_p + 4d\ell + 2,1H_1^2 - d^2 + d_p^2) + nh_1 \cdot \ell_1, \quad (8)$$

где A – поправочный коэффициент, значения которого принимаются в зависимости (прил. 2) от шага резьбы (мелкий шаг $A=6,4$; крупный – $A=7,6$); d_p – наружный диаметр резьбы (см. рис. 4); ℓ_p – длина нарезной (резьбовой) части болта; d, ℓ – диаметр и длина ненарезной части болта (без резьбы); H_1 – размер головки болта "под ключ"; n – количество граней головки болта; h_1 – высота болта; ℓ_1 – длина грани головки болта.

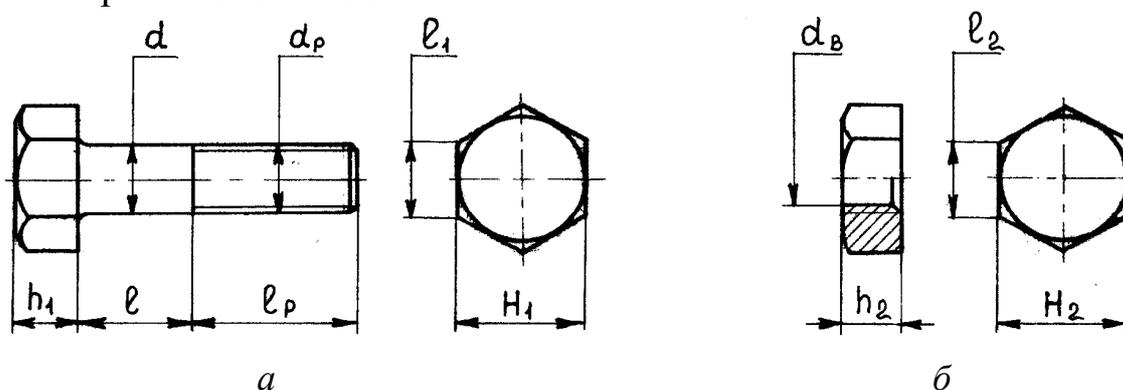


Рис.11. Размеры, определяемые при вычислении площадей покрытия болтов (а) и гаек (б)

Аналогично этому площадь покрытия гайки S_2 (дм²) рассчитывается по формуле

$$S_2 = 157 \cdot (1,05H_2^2 - d_g^2 + Bd_2h_2) + nh_2\ell_2; \quad (9)$$

где H_2 – размер гайки "под ключ"; d_e – внутренний диаметр резьбы гайки (см. рис. 11); B – поправочный коэффициент, значения которого принимаются в зависимости от шага резьбы (мелкий шаг $B = 1,2$; крупный – $B = 1,6$); h_2 – высота гайки; n – количество граней гайки;

ℓ_2 – длина грани гайки.

Площадь покрытия болтов и гаек $S_{\delta z}$, закрепляемых на подвесное приспособление, определяется суммированием:

$$S_{\delta z} = \sum_1^i S_{\delta i} + \sum_1^j S_{\delta j}; \quad (10)$$

где i, j – количество закрепляемых на подвесное приспособление болтов и гаек.

Общая площадь покрываемой поверхности деталей, одновременно загружаемых в гальваническую ванну будет равна

$$S_B = mS_{\delta}, \quad (11)$$

где m – количество одноименных деталей, одновременно загружаемых в гальваническую ванну.

Толщина покрытия δ , которое нужно нарастить на поверхность, зависит от его назначения. Так, при осаждении защитных и защитно-декоративных покрытий она обусловлена характером защитного покрытия (анодное или катодное), материалом детали, количеством наращиваемых слоев (однослойное, многослойное) и условиями эксплуатации. Для стальных деталей подвергаемых защитному цинкованию, δ задается в пределах 3–50 мкм.

При осаждении же гальванических покрытий с целью устранения износа рабочих поверхностей толщина покрытия определяется по следующей зависимости (для цилиндрических деталей):

$$\delta = 0,5 \cdot (d_n - d_{\delta}) + z, \quad (12)$$

где d_n – диаметр (номинальный или ремонтный), под которым необходимо восстановить данную поверхность; z – припуск на механическую обработку восстанавливаемой поверхности.

Величина z зависит от природы покрытия, способа механической обработки и точности обрабатываемой поверхности. Для примера в прил. 3 приведены припуски на шлифование покрытий твердого электролитического железа. При обработке же хромовых покрытий припуски назначают в следующих пределах: при шлифовании – 0,05...0,15 мм; при хонинговании – 0,01...0,03 мм; при притирке –

0,01...0,015 мм. На выглаживание припуск обычно не оставляют, так как размеры при этом изменяются в пределах допусков.

При контроле качества износостойкого покрытия средняя толщина нарощенного слоя определяется из выражения

$$\delta = 0,5(d_g - d_d), \quad (13)$$

где d_g – средний диаметр цилиндрической поверхности после осаждения металла (рассчитывается аналогично диаметру d_d).

Длительность процесса электроосаждения металла (время, в течение которого необходимо выдержать деталь под током в гальванической ванне, чтобы получить слой металла необходимой толщины δ) рассчитывается по формуле

$$\tau_o = \frac{1000\delta\gamma}{cD_k\alpha_k}, \quad (14)$$

где τ_o – время выдержки детали под током в гальванической ванне, ч; δ – необходимая толщина слоя металла, мм; γ – плотность наращиваемого металла, г/см³; c – электрохимический эквивалент металла, г/А·ч; D_k – катодная плотность тока, А/дм²; α_k – катодный выход металла по току, %.

Основные параметры для расчета τ_o приведены в табл. 3. При осаждении защитных покрытий на крепежные детали расчетное значение τ_o необходимо увеличить на 15–20 % (в силу недостаточной равномерности покрытия).

Таблица 3

Параметры для расчета продолжительности электролиза

Покрывание	γ , г/см ³	c , г/А·ч	D_k , А/дм ²	α_k , %
Хром	6,89	0,323	20...50	12...18
Железо	7,87	1,042	30...40	75...90
Никель	8,90	1,095	1...10	70...90
Цинк	7,13	1,22	1...3	97...99
Медь	8,96	1,18	2...5	60...99

Величина тока, необходимого для питания гальванической ванны (загрузка ванны по току при наращивании металла или анодном травлении детали) I_K (I_a), рассчитывается исходя из заданной катодной (анодной) плотности тока D_K (D_a) и площади одновременно покрываемой поверхности деталей S_g (детали или её части) по формулам:

– при электроосаждении металла

$$I_K = D_K S_g; \quad (15)$$

– при анодном травлении (декапировании)

$$I_a = D_a S_в; \quad (16)$$

– при электрохимическом обезжиривании

$$I = D S_в, \quad (17)$$

где D – плотность переменного тока при обезжиривании.

Величины D_k определяются природой осаждаемого металла, принятыми условиями электролиза, назначением покрытия (защитное или износостойкое) и условиями его работы. Значения D , D_a (А/дм²) устанавливаются из условий обеспечения высокой прочности сцепления покрытия с металлом детали.

2.5. Структура технологического процесса восстановления деталей гальваническими покрытиями

Производственный опыт показывает, что технология наращивания различных гальванических покрытий на изнашиваемые поверхности деталей имеет много общих (одноименных) операций. Поэтому любой технологический процесс восстановления деталей электролитическими покрытиями можно разбить на 5 этапов:

- предварительная подготовка деталей;
- электрохимическая подготовка восстанавливаемых поверхностей;
- электроосаждение металла;
- обработка деталей после наращивания покрытия;
- механическая обработка.

2.5.1. Предварительная подготовка деталей

Включает в себя очистку, мойку, механическую или слесарную обработку, крацевание, галтовку, изоляцию поверхностей, не подлежащих покрытию, монтаж на подвесные приспособления, обезжиривание, промывки водой.

Детали, поступающие для восстановления (защиты от коррозии), имеют на своих поверхностях, в полостях и углублениях различные загрязнения (маслянисто-грязевые, смолистые и лаковые отложения, продукты коррозии, нагар, следы масла и смазки). Все эти загрязнения должны быть удалены по двум причинам: загрязнения могут растворяться в электролите, способствуя его порче; наличие загрязнений не обеспечивает условий получения высокой прочности

сцепления покрытия с металлом детали. Удаление всевозможных загрязнений осуществляется при выполнении операций очистки и мойки. Эти операции являются типовыми для технологии ремонта машин и достаточно хорошо освещены в литературе.

Восстанавливаемые (защищаемые) детали разнообразны по форме, размерам и состоянию рабочих поверхностей. Но тем не менее общим для них является наличие износа, искажающего геометрическую форму, пластически деформированных поверхностных слоев, вмятин и задиров. Поверхностный слой деталей из чугуна зачастую пропитан маслом. Кроме того, на поверхностях, подлежащих защите, могут быть риски, неровности, микроскопические раковины и т.п. Эти дефекты при наращивании гальванических покрытий не исчезают, а становятся еще более рельефными по мере увеличения толщины покрытия и приводят к деформации осадка (образуются вздутия, дендриты, разрывы). Все эти причины вызывают необходимость проведения предварительной механической обработки восстанавливаемых (защищаемых) поверхностей. Она может быть проведена различными методами: чистового точения (расточивания), хонингования, шлифования (бесцентрового и в центрах), полирования и др.

При восстановлении размеров изношенных поверхностей точение (расточивание), хонингование, шлифование производят соответствующим инструментом по режимам, применяемым в технологии машиностроения. Технология же шлифования и полирования при подготовке к наращиванию защитно-декоративных покрытий имеет свои особенности и приведена в главе 5. Слесарная обработка деталей включает в себя закругление острых кромок и углов, позволяющее избежать образования дендритов, выравнивание вмятин, изгибов деталей из тонколистового металла, зачистку поверхностей шлифовальной шкуркой. После механической или слесарной обработки с деталей удаляют жировые загрязнения (обезжиривают). Обезжиривание в этом случае проводят в растворах щелочей или органическими растворителями (дихлорэтан, бензин, ацетон).

Крацевание – процесс очистки деталей вращающимися металлическими щетками. Его применяют для очистки поверхности деталей от ржавчины, окалины, старой краски, сглаживания заусенцев и неровностей. При крацевании используют дисковые щетки из проволоки диаметром 0,2...0,5 мм. Для крацевания стальных и чугунных деталей используют щетки из стальной проволоки. Алюминиевые, бронзовые, латунные детали крацуют щетками из латунной проволоки.

Щетки закрепляют на шпинделе шлифовально-полировального станка или на гибком валу электродвигателя. Частота вращения щеток 1 200...2 500 мин⁻¹. Для повышения производительности крацевания деталь смачивают раствором соды или мыла.

Для мелких деталей (толкатель, клапан, палец поршневой, болты, гайки, шайбы и т.д.) вместо очистки и механической обработки часто применяют мокрую галтовку. Сущность ее заключается в обкатке деталей совместно с абразивным материалом во вращающихся с частотой 10 – 60 мин⁻¹ колоколах (барабанах) с наклонной осью вращения, которые заполнены суспензией абразивов в различных растворах (мыльная вода, раствор щелочи, кислоты и т.п.). В качестве абразива применяют: кварцевый песок, битое стекло, мраморную крошку, металлическую дробь и т.п. Мокрая галтовка по своей сущности является гидроабразивной обработкой. При вращении колокола (барабана) загруженные в него детали трутся одна о другую через прослойку суспензии абразива. В результате они очищаются от всевозможных загрязнений (нагара, ржавчины, старой краски и т.д.), с поверхностей их снимается тонкий деформированный слой металла, на них удаляются заусенцы и грубые неровности (совмещаются операции очистки и механической обработки). После галтовки детали выгружают в корзины из кислотостойкого материала. В них путем тщательной промывки теплой и холодной водой от деталей отделяется галтующий (абразивный) материал, который используется повторно.

В ремонтном производстве чаще всего электролитические покрытия осаждаются не на всю деталь, а только на отдельные (имеющие износы) её поверхности. На поверхности, не подлежащие восстановлению, гальваническое покрытие обычно не наращивается. Их защищают специальным токонепроводящим материалом от электроосаждения на них металла (изолируют). Изоляция позволяет сохранить геометрические размеры невозстанавливаемых участков детали, уменьшает непроизводительные расходы электрической энергии, металла и химикатов, защищает от коррозии внутренние полости детали.

Изоляционный материал должен удовлетворять следующим требованиям:

- быть химически устойчив к воздействию электролита (кислото- и щелочестойким);
- должен обладать термостойкостью, соответствующей температуре

электролиза;

- в процессе электролиза он не должен пробиваться электрическим током (должен быть неэлектропроводным);
- после наращивания металла должен легко сниматься с детали;
- должен быть недефицитным и дешевым.

В производственных условиях изоляцию выполняют с помощью постоянных изоляторов или различными изоляционными материалами. Постоянными изоляторами служат части подвесного приспособления или съемные колпаки, футляры, экраны, втулки, шайбы. Они изготавливаются по форме защищаемой поверхности из текстолита, эбонита, винипласта, фторопласта, органического стекла, резины и т.п. Постоянные изоляторы предназначены для многократного использования и должны быстро монтироваться на деталь и сниматься с неё. Они не должны иметь карманов и углублений, накапливающих электролит и воду во время технологических операций. Там, где возможно скопление растворов, должны быть предусмотрены отверстия и канавки для их стока.

В качестве изоляционных материалов используют пленочные и лакокрасочные материалы. Пленочными удобно изолировать поверхности деталей несложной формы. Ими плотно обертывают защищаемые места. В практических условиях для этого используют тонкую резиновую ленту, листовой целлулоид, липкую полихлорвиниловую ленту, пленку ПВХ, полихлорвиниловые пластики, а также хлорвиниловые, резиновые и винипластовые трубки.

Для однократного использования наибольшее распространение получили лакокрасочные материалы, которые наносятся на защищаемые поверхности в 2 – 4 слоя в зависимости от их кислото-, термо-, электростойкости. Нанесение производится пульверизатором, кистью или окунанием. После высыхания лакокрасочный материал удаляется с поверхностей, подлежащих наращиванию (ножом, шлифовальной шкуркой или другими способами). Чаще всего для этой цели применяют:

- перхлорвиниловые лаки и эмали (ХСЛ, ХВЛ-21, ПВХ-29, ПВХ-715, ХСЭ-23, ХСЭ-26 и др.);
- цапонлак (раствор целлулоида в ацетоне);
- клеи БФ-2, БФ-4, БФ-6;
- смесь цапонлака с нитрокраской в соотношении 1:2;
- бакелитовые лаки (СКС-1, СБС-1Ф и др.).

В качестве изолирующего материала многократного использова-

ния при температуре электролиза до 35 °С используется парафин или

смесь натурального воска (37–65 %) и канифоли (10–50 %). Для изоляции детали окунают 1–2 раза в расплавленный материал (воскируют). После полного затвердевания его удаляют с участков, подлежащих покрытию. После наращивания покрытия на деталь воскирующий материал расплавляют в ванне с горячей водой. Затем он собирается с поверхности воды и повторно используется.

Детали в гальванические ванны загружают на подвесных приспособлениях (подвесках) или россыпью (мелкие детали – болты, гайки, шайбы и т.д.). При монтаже на подвески требуется обеспечить надежный контакт в электрической цепи "деталь – подвеска–штанга ванны" и гарантировать прочное закрепление деталей. Для этого перед монтажом тщательно зачищаются контактные поверхности подвески и проверяется работоспособность закрепляющих детали устройств (пружин, винтов, резиновых стяжек и пр.).

Даже после тщательной очистки и мойки деталей на их поверхностях остается тонкий слой жировых пленок. Для обеспечения высокой прочности сцепления электролитического покрытия с металлом детали эти пленки должны быть удалены. Очистка восстанавливаемых поверхностей от жировых пленок производится при обезжиривании. Различают химическое, химико-механическое и электрохимическое обезжиривание. Химическое проводят в щелочных растворах с добавками эмульгаторов. Химико-механическое заключается в протирке очищаемых поверхностей волосяными щетками с обезжиривающим составом. В качестве обезжиривающей смеси часто применяют разведенную водой до кашицеобразного состояния венскую известь (смесь окиси магния MgO и окиси кальция CaO) или смесь мелкопомолотой гашеной извести $Ca(OH)_2$ и мела $CaCO_3$ (в соотношении 2:1). Смесь наносят волосяной щеткой на поверхность и тщательно её протирают, промывая струей холодной воды. Операцию повторяют несколько раз и добиваются того, чтобы вода равномерно смачивала всю поверхность детали (чтобы не было разрывов водяной пленки).

Наиболее эффективным способом, обеспечивающим быстроту процесса и высокое качество очистки от жировых пленок, считается электрохимическое обезжиривание. Сущность его заключается в том, что детали обрабатывают под током в растворах щелочей. При этом на их поверхности бурно выделяются пузырьки водорода или кислорода, которые облегчают эмульгирование (процесс образования

эмульсий из взаимно нерастворимых жидкостей) жиров и масел, механически разрывая и удаляя их пленки. В результате процесс обезжиривания ускоряется в несколько раз. Однако при этом происходит наводораживание очищаемых поверхностей, вызывающее ухудшение механических свойств детали. Для устранения опасности наводораживания поверхностных слоев детали рекомендуют проводить электрообезжиривание переменным током в электролите следующего состава: 10 г/л каустической соды NaOH; 25 – 30 г/л кальцинированной соды Na₂CO₃; 25 – 30 г/л тринатрийфосфата Na₃PO₄; 5 – 10 г/л эмульгатора ОП-7. Режим обработки: температура электролита $t = 40 - 50$ °С, плотность тока $D = 5 - 8$ А/дм², время выдержки $\tau = 2 - 8$ мин. В качестве электродов используют пластины из коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т.

В производственных условиях, характерных для ремонтного производства, быстрота процесса и высокое качество очистки обеспечиваются выполнением сначала химико-механического, затем электрохимического обезжиривания. При химико-механическом с восстанавливаемых поверхностей удаляется основная масса жировых загрязнений. Электрохимическое же обезжиривание обеспечивает лучшее качество очистки металла непосредственно перед осаждением гальванического покрытия. Качество обезжиривания при обоих способах проверяют при последующей промывке деталей: необходимо, чтобы на очищаемых поверхностях не было разрывов водяной пленки. После обезжиривания прикасаться к поверхности детали нельзя.

2.5.2. Электрохимическая подготовка восстанавливаемых поверхностей

Электрохимическая подготовка восстанавливаемых поверхностей включает в себя выполнение одной или двух операций: анодное травление, декапирование. Возможна также операция «химическое активирование» поверхностей деталей. После этих операций обязательна промывка холодной водой.

Цель электрохимической (химической) подготовки поверхностей – обеспечить прочность сцепления гальванического покрытия с металлом детали, удовлетворяющую требованиям надежности. Это достигается за счет удаления с восстанавливаемых поверхностей окисных пленок (а в ряде случаев следов окалина и ржавчины) и выявления структуры металла, что, в свою очередь, создает условия фи-

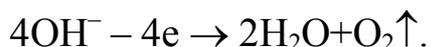
зической сцепляемости осадка и материала детали силами межатомного взаимодействия. Неудовлетворительное проведение электрохимической (химической) подготовки при самом тщательном обезжиривании приводит к отслаиванию покрытий. Поэтому данному этапу уделяется особое внимание.

Химическое активирование применяют для снятия тонких окисных пленок с поверхностей деталей из меди, бронзы, латуни, алюминиевых сплавов. Оно представляет собой окончательную операцию подготовки деталей из этих металлов и заключается в легком травлении их поверхности. Её проводят непосредственно перед погружением деталей в гальваническую ванну. Детали из меди, бронзы, латуни, алюминия обычно травят в растворах азотной HNO_3 , серной H_2SO_4 , соляной HCl , ортофосфорной H_3PO_4 кислот и 10–30 %-ном растворе каустической соды NaOH при различных температурах.

Анодное травление применяют для подготовки поверхностей стальных и чугунных деталей. В ремонтном производстве широкое применение находит анодное травление в электролите с содержанием 365 г/л серной кислоты H_2SO_4 (30 %-ный раствор) и 10–25 г/л сернокислого железа $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Процесс ведут при температуре 18–25 °С, анодной плотности тока 30–70 А/дм² в течение 1–5 мин. Деталь при этом навешивают в ванну анодного травления в качестве анода, катодами служат свинцовые пластины.

Процесс анодной обработки деталей состоит из двух взаимно перекрывающихся процессов: электрохимического травления и пассивирования. В первой (начальной) стадии происходит интенсивное травление поверхности детали, растворение толстых окисных пленок и дефектного поверхностного слоя металла. Продукты травления при этом остаются на поверхности анода (детали) в виде темного налета (шлама). В раствор переходят ионы двухвалентного железа $\text{Fe} - 2\text{e} \rightarrow \text{Fe}^{++}$.

Через некоторое время после начала обработки повышается напряжение на штангах ванны и одновременно снижается сила тока. Потенциал анода повышается и начинает преобладать электрохимический процесс – разряд ионов OH^- и выделение газообразного кислорода:



Выделяющиеся пузырьки кислорода срывают травильный шлам и обрабатываемая поверхность становится чистой, с отчетливо выявленной структурой и специфическим микрорельефом. Одновре-

менно с этим на поверхности детали возникает пассивная пленка (пассивность – состояние высокой химической устойчивости металла в данных условиях). Пассивная пленка защищает поверхность детали от окисления при взаимодействии с внешней средой (промывочной водой и электролитом). Качество анодного травления проверяют по внешнему виду восстанавливаемых поверхностей. Правильно обработанная поверхность стальных деталей должна иметь характерный матовый, тускло-серебристый цвет. Наличие блеска, темных пятен и следов травильного шлама недопустимо.

Декапирование – заключительная операция подготовки поверхности детали перед осаждением на них электролитических покрытий хрома и никеля. Оно заключается в удалении тончайших окисных пленок, образующихся на обезжиренной и протравленной поверхности во время промывки, транспортировки деталей. Различают химическое и электрохимическое декапирование. Химическое – травление деталей в растворах серной, соляной, азотной кислот. Его проводят непосредственно перед погружением деталей в гальваническую ванну. Электрохимическое декапирование – обработка деталей под током на аноде в электролите, из которого осаждается металл. Так, при хромировании декапирование производится либо в отдельной ванне декапирования, содержащей раствор хромового ангидрида, или же в самой ванне хромирования (чаще всего).

2.5.3. Электроосаждение металла

Операциями технологического процесса этого этапа являются: завешивание или загрузка деталей в гальваническую ванну, выдержка в рабочем электролите на соответствующем режиме, выгрузка деталей из ванны.

Завешивание подвесных приспособлений с деталями в гальваническую ванну (или засыпку деталей в неё) следует производить осторожно, чтобы избежать ожогов от брызг электролита. При этом необходимо обеспечить надежный электрический контакт "штанга–подвеска", гарантирующий отсутствие перерывов в прохождении электрического тока и предотвращающий возможность короткого замыкания в цепи электрического питания ванны.

Наращивание гальванических покрытий осуществляют в соответствии с особенностями технологии электроосаждения конкретного металла, изложенными в главах 3, 4, 5, 6, 7, 8.

2.5.4. Обработка деталей после наращивания покрытия

Этап включает в себя выполнение таких операций, как промывка водой, демонтаж с подвесных приспособлений и снятие изоляции, нейтрализация, промывки водой, сушка, контроль.

Демонтаж деталей с подвесных приспособлений и снятие защитной изоляции производятся аккуратно, чтобы обеспечить исправность подвесных приспособлений в целом, зажимных устройств и изоляционного материала многократного использования.

После осаждения гальванического покрытия в порах (микротрещинах) наращенного металла (микротвердостью 400–920 кгс/мм²) остаются остатки электролита. В дальнейшем они могут вызвать коррозию восстановленных поверхностей. Их возможное коррозионное воздействие на деталь (и сопряженную с ней) должно быть нейтрализовано. Полное удаление остатков кислого электролита (нейтрализация) достигается промывкой деталей в 5 %-ном растворе каустической соды NaOH или в 10 %-ном растворе кальцинированной соды Na₂CO₃ с выдержкой в течение 5–10 мин.

Сушку деталей проводят в сушильном шкафу, обдувкой сжатым воздухом (чаще всего) или протиркой ветошью. Детали, прошедшие сушку, подвергаются контролю на качество покрытия. Такой контроль в производственных условиях включает в себя несколько стадий, характер выполнения которых определяется назначением и специфическими свойствами наращенного покрытия.

Любой технологический процесс осаждения гальванических покрытий предусматривает многократные промывки теплой и холодной водой в зависимости от характера предыдущей и последующей операций. Вода для промывки должна быть достаточно чистой, так как прочность сцепления покрытия с металлом детали будет низкой, если вода содержит какие-либо загрязнения. Поэтому воду в промывочных ваннах периодически или непрерывно заменяют. Скорость её замены зависит от числа промываемых деталей, объема ванны, чистоты заливаемой в ванну воды. Обычно теплую воду сменяют периодически – 1 объем ванны за 2 ч, а холодную – непрерывно (проток). В ваннах запрещается мыть руки и посторонние предметы.

2.5.5. Механическая обработка

Гальванические покрытия, наращенные на деталь с целью устранения износа рабочих поверхностей (износостойкие) и защитно-декоративные подвергаются окончательной механической обработке. В первом случае она должна обеспечить необходимые размеры, форму и шероховатость восстанавливаемых поверхностей, во втором – привлекательный внешний вид детали.

Для обработки износостойких покрытий применяют чистовое точение (расточивание), хонингование, шлифование (внутреннее и наружное, бесцентровое и в центрах), притирку, алмазное выглаживание. Точение (расточивание) используют при обработке железных покрытий и антифрикционных сплавов. Хонингование и шлифование находят широкое применение при обработке электролитических осадков железа, никеля, хрома и износостойких сплавов. При этом режимы обработки назначают такие, чтобы не происходило увеличения трещиноватости покрытий (рис.12), снижения их твердости и возникновения шлифовочных трещин. В общем случае при механической обработке износостойких покрытий рекомендуется применять малую глубину резания, небольшие подачи и скорости резания и обязательно использовать смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ).

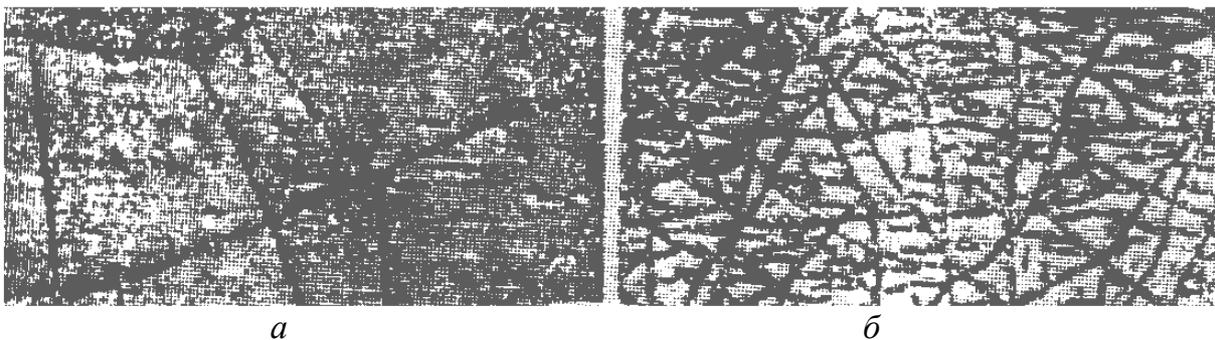


Рис.12. Пористость хромового осадка до шлифования (а) и после шлифования (б)

Притирка (доводка) – особо точный способ механической обработки поверхностей, восстанавливаемых электролитическим наращиванием железных, никелевых или хромовых покрытий. Она используется с целью получения рабочей поверхности с малой шероховатостью и высокой точностью. При притирке снимается слой металла, не превышающий 0,02–0,03 мм. В ремонтном производстве притирка (машинная и ручная) широко используется для обеспечения герметичности сопряжений прецизионных пар. Такими сопряжениями яв-

ляются: "плунжер–втулка" топливного насоса высокого давления; цилиндрическая часть "игла распылителя – корпус распылителя" форсунки; запорный конус "игла–корпус" распылителя форсунки; "золотник–корпус" гидравлического распределителя и т.д. Герметичность этих сопряжений достигается при зазоре: не более 0,001 мм для деталей топливной аппаратуры и не более 0,01 мм для золотников гидро-распределителей.

Притирка прецизионных пар обычно выполняется в две стадии. На первой рабочие поверхности деталей обрабатывают притирами из серого чугуна, наружный (внутренний) диаметр которых регулируют винтами. При этом на сопрягаемые поверхности наносится суспензия абразивного микропорошка (зернистостью 20 – 5) в масле или притирочная паста типа НЗТА. Последовательно уменьшая зернистость абразивного порошка или меняя состав притирочных паст, устраняют овальность, огранку, конусность рабочих поверхностей.

Затем детали делят на размерные группы и комплектуют. На второй стадии сопрягаемые поверхности деталей притирают непосредственно друг к другу. При этом используют специальные пасты типа ГОИ, НЗТА (на основе окиси хрома, алюминия и карбида бора), микропорошки М40...М5 и алмазные пасты типа АП. Заключительным переходом второй стадии является притирка с чистым индустриальным маслом И-20. Такая технология притирки позволяет получать шероховатость сопрягаемых поверхностей в пределах $R_a = 0,02–0,04$ мкм. Наилучших результатов достигают при небольшой скорости вращения детали и продольной подаче 2– 4 м/мин.

Алмазному выглаживанию (поверхностному пластическому деформированию) подвергаются покрытия железа, никеля, хрома и износостойкие сплавы. Его производят специальным инструментом при взаимном перемещении с деталью. Способ основан на использовании принципа трения скольжения. Выглаживанию подвергают внутренние и наружные поверхности деталей. Инструмент для выглаживания представляет собой державку, в которой установлен наконечник (гладилка). Он изготавливается из природного (синтетического) алмаза марки АСБ (АСПК) или пластинок из твердого сплава Т30К4 (титанокобальтовый сплав), ТТ10К8ФА (титанотанталокобальтовый сплав). Рабочая поверхность наконечника (гладилки) имеет цилиндрическую или сферическую поверхность $R = 3 – 5$ мм. При вращении детали наконечник прижимается к обрабатываемой поверхности с силой 150 – 500 Н. В процессе обработки применяется СОЖ.

Для увеличения износостойкости наконечника (гладилки) его устанавливают под углом не менее 75° к обрабатываемой поверхности (рис. 13, 14).

При наклонном расположении инструмента делают несколько проходов и один раз обработку проводят при перпендикулярном расположении наконечника (гладилки) по отношению к обрабатываемой поверхности. Конструкция рабочего инструмента (державки) для обработки выглаживанием роликом из твердого сплава Т30К4 приведена на рис. 15.

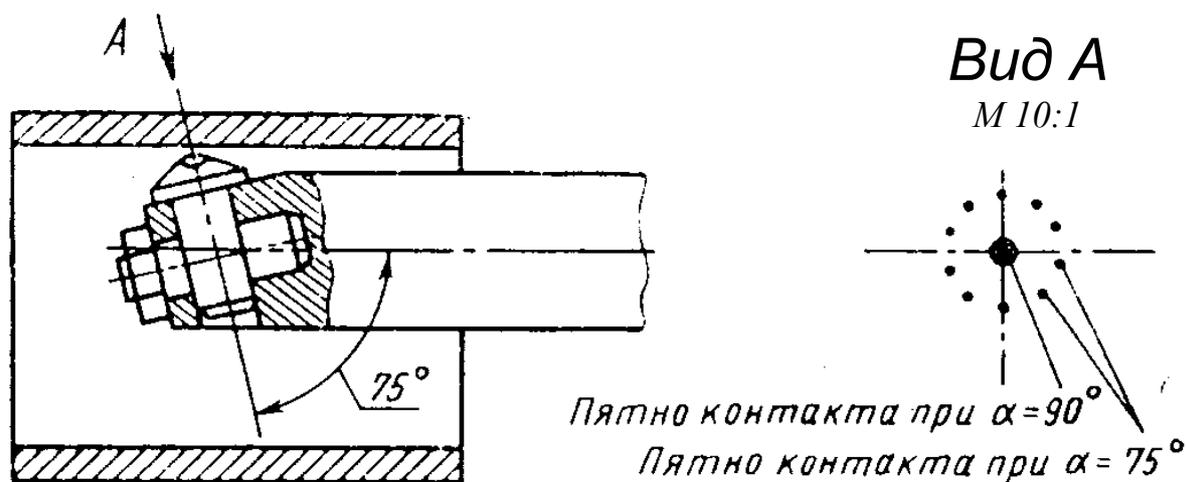


Рис. 13. Схема оправки для алмазного выглаживания

При износе алмазного наконечника или твердосплавного ролика их несколько раз поворачивают на некоторый угол. Это увеличивает долговечность инструмента.

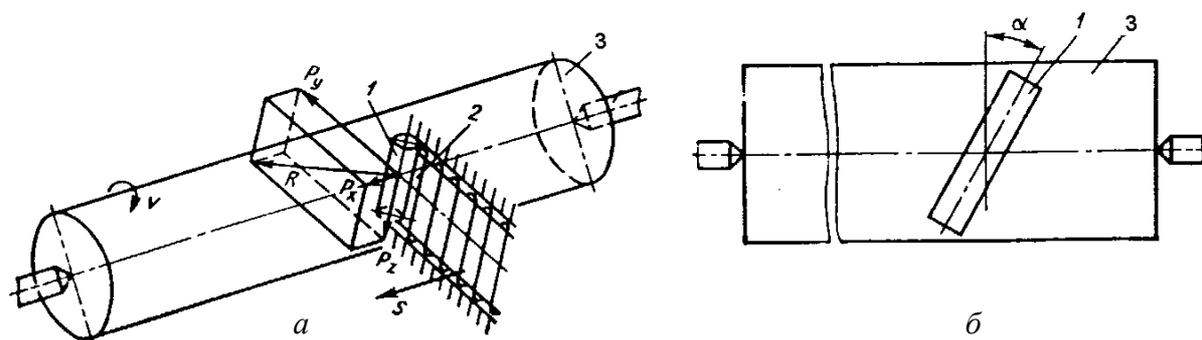


Рис. 14. Схема процесса выглаживания гладилкой (а) и её установки

(б) относительно детали: 1—гладилка; 2—пружинная державка; 3—деталь

При выглаживании диаметр детали уменьшается (увеличивается) в пределах $0,5 - 10$ мкм. Его применяют для получения шероховатости $R_a = 0,02 - 0,08$ мкм, придания микропрофилю восстанавли-

ваемой поверхности определенной направленности, повышения твердости поверхностного слоя и формирования в нем благоприятных сжимающих остаточных напряжений. Глубина поверхностного упрочненного слоя достигает 0,1 – 0,3 мм.

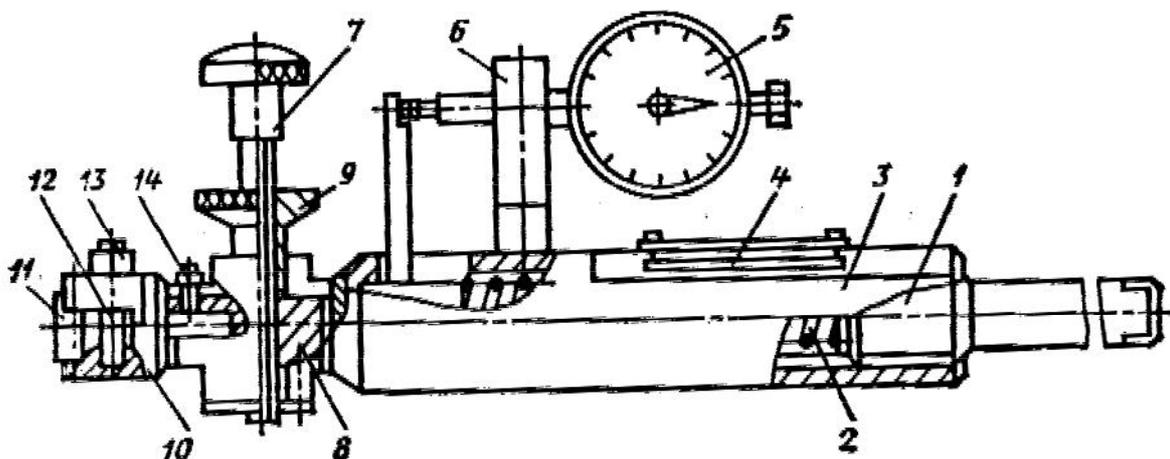


Рис. 15. Державка для выглаживания роликом: 1—винт пружины; 2—пружина; 3—корпус державки; 4—шкала; 5—индикатор часового типа; 6—стойка; 7—винт стопорный; 8—переходник; 9—контргайка; 10—головка; 11—ролик; 12—шпилька; 13—стяжная гайка

В результате повышается износостойкость трущихся пар и увеличивается усталостная прочность восстанавливаемых деталей. Но при выглаживании может происходить увеличение количества микротрещин в осадках железа и хрома. В это же время за счет деформации поверхностного слоя микротрещины перекрываются по глубине. Этот эффект (закатывания трещин) имеет особое значение при восстановлении деталей, работающих в гидро-, пневмосистемах. Практикой доказано, что течь гидравлической жидкости и воздуха через хромированные (осталенные) штоки гидро-, пневмоцилиндров (и пр.) может происходить из-за наличия в этих покрытиях сетки микротрещин с широкими каналами, по которым гидрожидкость (воздух) просачивается, минуя резиновые уплотнения. Этот дефект гальванических покрытий устраняется алмазным выглаживанием. В результате пластической деформации поверхностного слоя перекрываются (закатываются) микроскопические сквозные каналы и гарантируется герметичность сопряжений.

Особенности технологии окончательной обработки защитно-декоративных покрытий (полирование и глянецвание) изложены в гл. 5.

Рассмотренный технологический процесс применения гальванических покрытий не является универсальным. Вид и назначение, специфика физико-механических свойств осаждаемого покрытия, конструктивно-технологические особенности деталей (их материал, конфигурация, состояние восстанавливаемых поверхностей) в каждом конкретном случае обуславливают количество и последовательность технологических операций, их объем и приемы выполнения. Но общая структура технологического процесса применения гальванических покрытий в ремонтном производстве сохраняется в любом случае.

2.6. Способы электроосаждения металлов

Успехи науки и практики применения гальванических покрытий показывают, что электроосаждение металла возможно производить различными способами. Все их можно классифицировать по:

- месту проведения;
- состоянию электролита;
- форме тока электрического питания.

По месту проведения различают электроосаждение в ваннах, без ванн (вневанное), электронатиранием. Гальванические ванны применяются различного типа (стационарные, колокольные, барабанные).

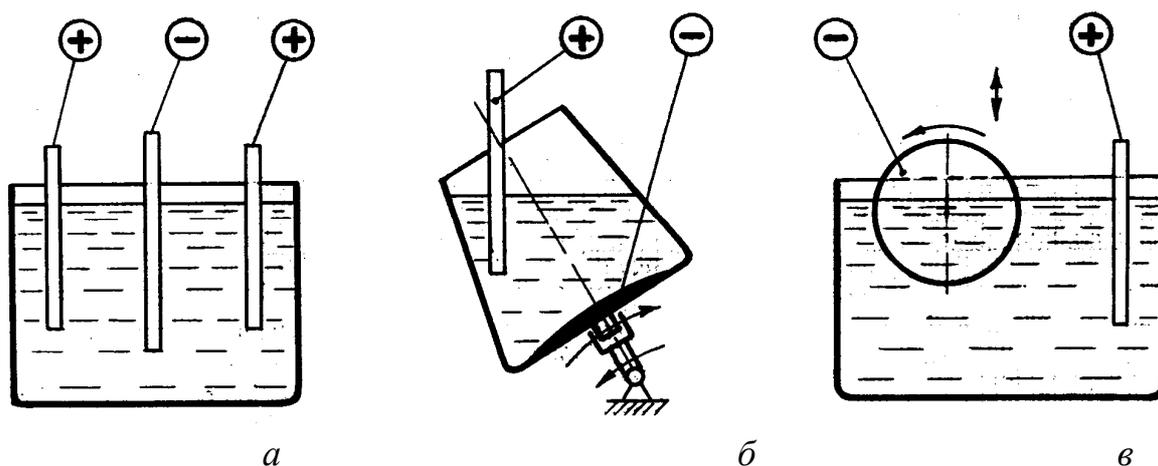


Рис. 16. Типы гальванических ванн: а–стационарная; б–колокольная; в–барабанная

Стационарные ванны (рис. 16, а) применяются при наращивании износостойких покрытий хрома, железа, никеля, антифрикционных

сплавов и меди на габаритные детали, которые завешиваются в ванну на подвесных приспособлениях. Колокольные (рис.16, б) и барабанные ванны (рис. 16, в) используют при электроосаждении защитных покрытий цинка, меди на мелкие крепежные детали (болты, винты, гайки, шайбы и пр.). Эти детали загружаются в колокольные и барабанные ванны россыпью. В последнем случае используется перфорированный барабан, опускаемый в ванну и вращаемый в процессе наращивания металла. Внутренняя поверхность его покрыта токопроводящим материалом.

При безванном способе используют временные гальванические ячейки, конструкция и форма которых соответствует конфигурации восстанавливаемой поверхности. Чаще всего электролит заливают в деталь (цилиндр или отверстие, закрытые с нижней стороны крышкой) или монтируют гальваническую ячейку на шейку вала (рис. 17).

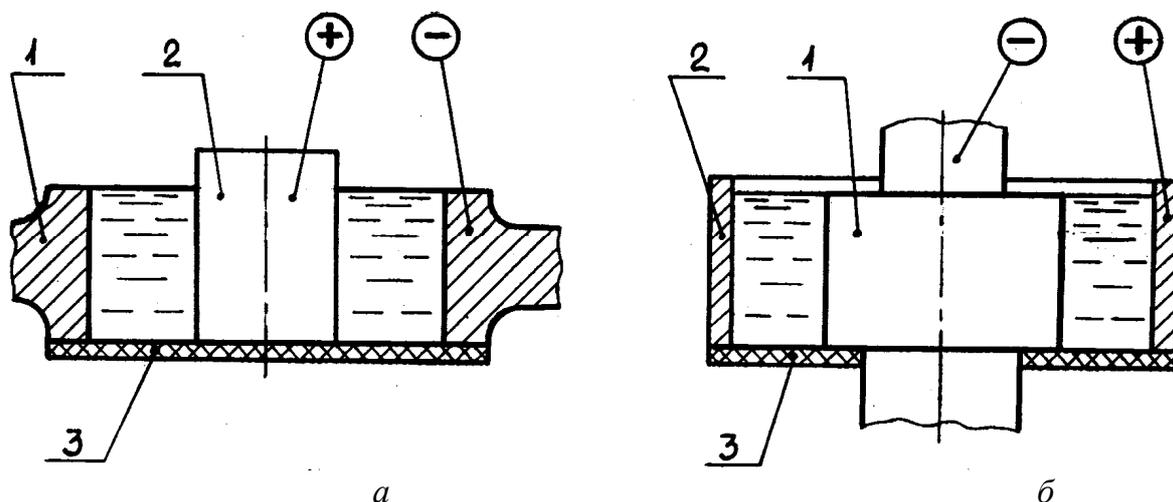


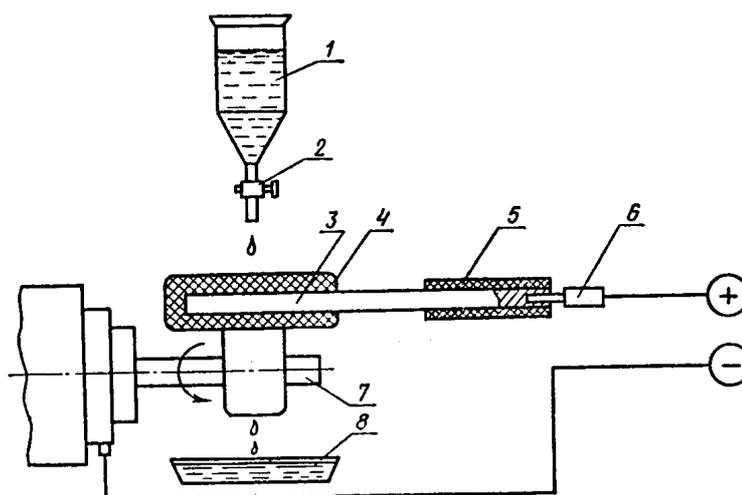
Рис. 17. Схемы электроосаждения металла без ванн: *а* – на поверхность отверстия под подшипник в картере; *б* – на опорную шейку вала; 1–деталь; 2–анод; 3–дно ячейки

Безванный способ электроосаждения металла рекомендуется применять при восстановлении крупногабаритных деталей с износом только отдельных поверхностей (шейки валов, посадочные отверстия в картерах, цилиндры двигателя и т.д.). При использовании этого способа отпадает необходимость в изоляции остальной поверхности детали, упрощается технология подготовительных операций, снижается себестоимость наращивания покрытий.

Электронатирание относится к вневанным способам наращивания металла и может применяться для восстановления наружных по-

верхностей детали типа валов, внутренних поверхностей корпусных деталей, плоских поверхностей. Сущность этого процесса заключается в том, что с восстанавливаемой поверхностью контактирует тампон. Тампон – это адсорбирующий материал (стекловата, стеклоткань, шерстяная ткань и пр.), которым обернут анод (угольный стержень или стержень из нержавеющей стали). Тампон непрерывно смачивается электролитом, вытекающим из ванночки, расположенной выше его. Подача электролита регулируется кислотостойким краном. Анодный тампон, смоченный электролитом, представляет собой как бы гальваническую микрованну. Постоянное поступление свежего электролита к месту наращивания и перемещение тампона по восстанавливаемой поверхности (или вращение детали) позволяют получать качественные электролитические покрытия при высокой производительности. Схема электронатирания деталей типа валов приведена на рис.18.

Рис. 18. Схема электролитического натирания шейки вала: 1–ванночка с электролитом; 2–регулирующий кран; 3–анод; 4–тампон; 5–рукоятка; 6–штекер; 7–деталь; 8–ванночка для сбора электролита



Выше было показано (см. п. 2.2), что гальванические покрытия формируются в химической среде (электролите) под действием электрического тока. При этом сильное влияние на процесс электрокристаллизации покрытий оказывает состояние электролита. По этому критерию все способы электролитического наращивания металла можно разделить на электроосаждение:

- а) без перемешивания электролита;
- б) с перемешиванием электролита (электромешалками, сжатым воздухом, механическими вибраторами, ультразвуком и т.д.);
- в) проточное.

Проточное (вневанное) электроосаждение осуществляется при установке на деталь герметичной гальванической ячейки и после-

дующей прокачке через неё электролита. Электролит может подаваться к восстанавливаемой поверхности сплошным потоком (рис. 19, а) или струями (рис. 19, б) внутри гальванической ячейки. Последний способ иногда называют анодно-струйным.

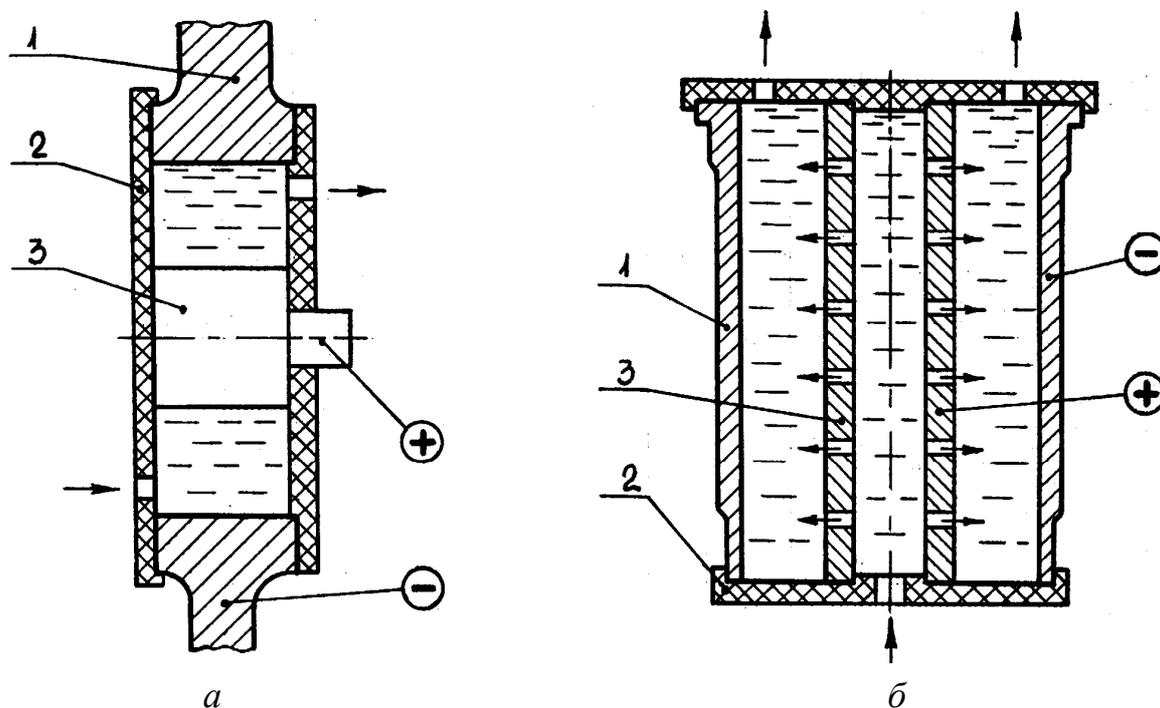


Рис. 19. Схемы электроосаждения металла в проточном электролите: а—сплошной проток; б—проток струями; 1—деталь; 2—анод; 3—полукорпус гальванической ячейки; → — направление движения электролита

Анодно-струйный способ можно применять для наращивания металла на внутренние поверхности деталей и на шейки валов. Схема гальванической ячейки для струйного осаждения металла на шейку вала показана на рис. 20.

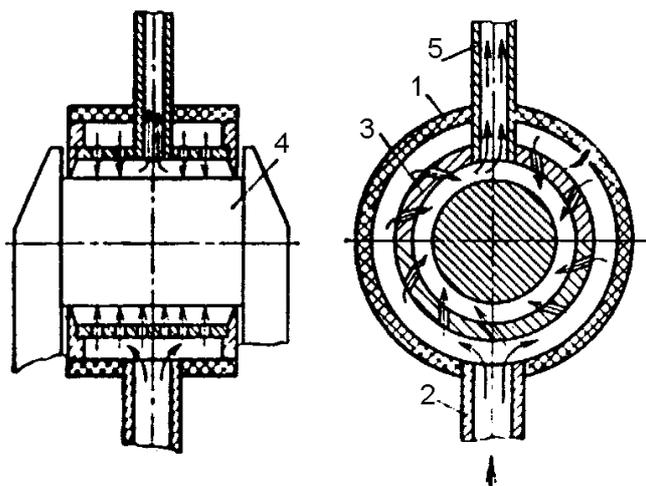


Рис. 20. Схема ячейки для струйного электроосаждения металла на шейку вала: 1—корпус; 2—подводящий штуцер; 3—анод; 4—деталь; 5—отводящий штуцер

Конструкции гальванических ячеек, схемы которых приведены на рис. 17, 19 и 20, должны гарантировать concentricity расположения анода относительно от-

верстия или шейки вала. Это обеспечивает равномерность наращивания металла на восстанавливаемые поверхности.

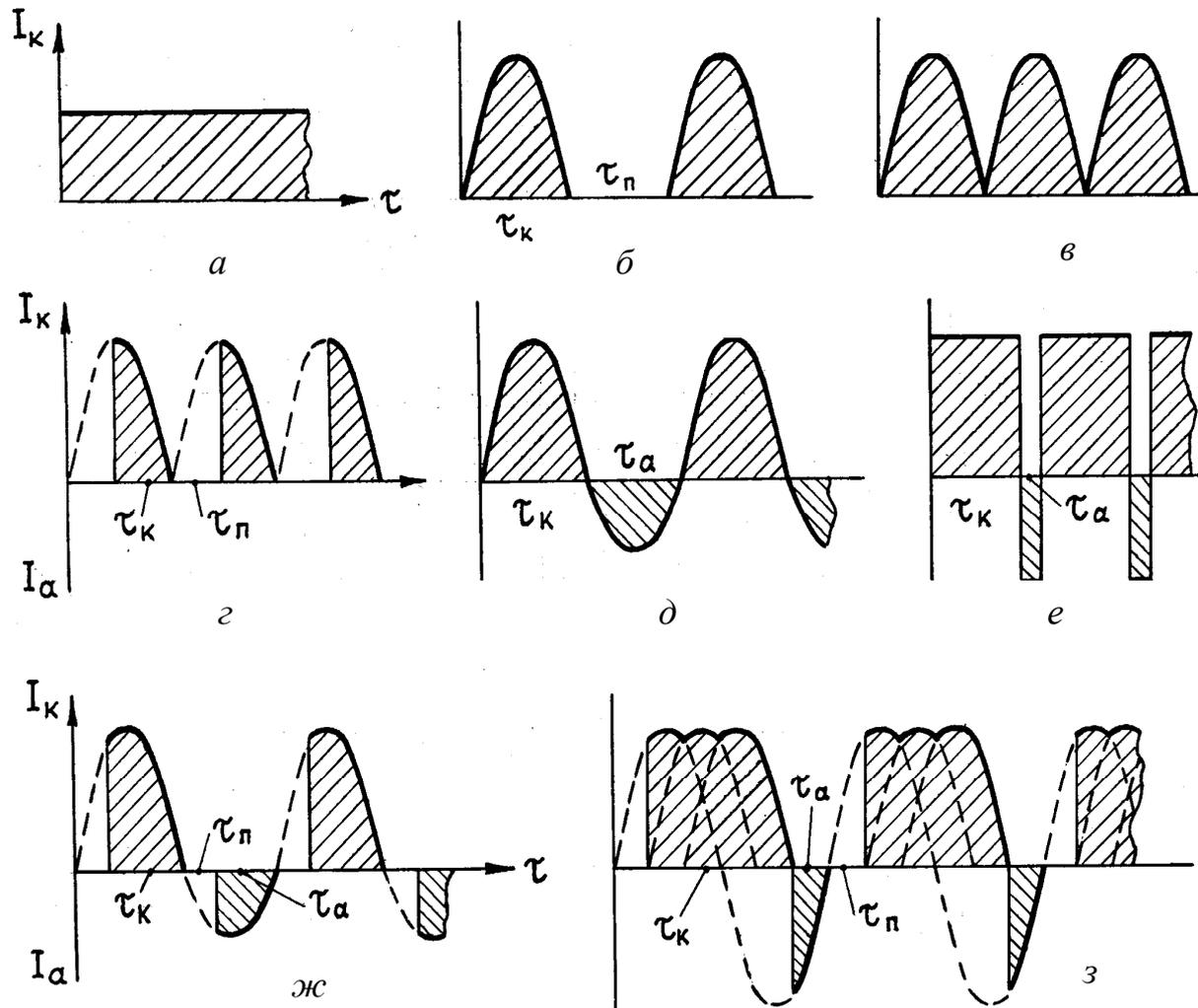


Рис.21. Формы электрических токов: *а*—постоянный; *б*, *в*—пульсирующий (однофазного выпрямления — *б*, двухфазного выпрямления — *в*); *з* — импульсный; *д* — асимметричный; *е* — реверсивный; *ж*, *з* — периодический ток с обратным импульсом (однофазного выпрямления—*ж*, трехфазного выпрямления—*з*); τ_n — время отсутствия тока

С момента применения гальванических покрытий на производстве все пути снижения концентрационных ограничений в прикатодном слое и улучшения физико-механических свойств электролитических осадков сводились к изменению таких условий электролиза, как состав, температура и перемешивание электролита. Причем Многочисленными исследованиями доказано, что изменение во времени величины и направления электрического тока питания гальванической

ванны оказывает значительное влияние на формирование электролитического осадка. В настоящее время для электролиза используют такие формы электрического тока: постоянный, пульсирующий, импульсный, асимметричный, реверсивный, периодический с обратным импульсом (рис. 21).

Перемешивание электролита, форма электрического тока питания, а также применение проточного электроосаждения считаются основными факторами интенсификации процесса электроосаждения и улучшения физико-механических свойств покрытий. При использовании этих приемов снижаются концентрационные ограничения в прикатодном слое и появляется возможность увеличить рабочую катодную плотность тока D_k , а следовательно, и скорость наращивания металла (см. п. 1.5). При этом качество электролитических осадков, как правило, улучшается (осаждаются покрытия с работоспособной структурой, с большей микротвердостью и с меньшими внутренними напряжениями).

Контрольные вопросы

1. Каково назначение гальванических покрытий в авторемонтном производстве?
2. Назовите технологические факторы процесса электроосаждения металла.
3. Что такое водородный показатель и как он определяется?
4. Типы структур гальванических покрытий по наличию микротрещин и причины их появления.
5. Как зависит микротвердость электролитических покрытий от технологических факторов?
6. Какие технологические расчеты производятся перед наращиванием покрытий?
7. Как определяется длительность процесса наращивания?
8. Расскажите о предварительной подготовке деталей к наращиванию гальванических покрытий.
9. Методы изоляции мест детали, не подлежащих покрытию. Примеры применения.
10. Что такое электрохимическое обезжиривание и как оно делается?
11. Назначение и сущность электрохимической подготовки восстанавливаемых поверхностей.
12. Зачем в технологическом процессе предусматривается операция "нейтрализация"?
13. Перечислите способы механической обработки деталей после наращивания покрытий.

14. Что такое притирка восстанавливаемых поверхностей и как она выполняется?
15. Расскажите о способах алмазного выглаживания электролитических покрытий.
16. Характеризуйте способы электроосаждения металла по месту проведения.
17. Какова сущность процесса электронатирания металла?
18. Приведите примеры проточного электроосаждения.
19. Какие формы электрического тока применяются для питания гальванических ванн?
20. Перечислите способы интенсификации процесса электроосаждения металла.

Глава 3. УСТРАНЕНИЕ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ ХРОМИРОВАНИЕМ

3.1. Свойства электролитического хрома

Хромирование приобрело большую популярность в ремонтном производстве благодаря ценным физико-механическим свойствам хрома: высокой твердости, термостойкости (температура плавления хрома 1750...1890 °С) и способности прочно сцепляться с разными металлами. Хром имеет высокую теплопроводность и низкий коэффициент линейного расширения ($6,6 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹). Высокие твердость и термостойкость, низкий коэффициент трения хрома с различными металлами обеспечивают восстановленным поверхностям хорошую износостойкость в тяжелых условиях эксплуатации (в 2 – 8 раз превышающую износостойкость закаленной стали 45).

Электролитический хром – твердый, хрупкий металл, серебристо-стального цвета с синеватым оттенком. Внешний вид, структура и механические свойства его изменяются в широких пределах. В зависимости от значений технологических факторов возможно получать три вида осадков: молочные, блестящие и матовые (серые).

Молочные покрытия получают при невысоких плотностях тока (20–30 А/дм²). Они имеют микротвердость 250...550 кгс/мм² и удовлетворительную вязкость. В них может отсутствовать сетка микротрещин. Они рекомендуются для восстановления деталей, работающих при средних удельных давлениях порядка 8...10 МПа, и как антикоррозионное покрытие.

Блестящие осадки хрома получают при $D_k = 35...60$ А/дм². Они обладают твердостью $H_{\mu} = 750...920$ кгс/мм². Структура их мелкокристаллическая и характеризуется разветвленной сеткой микротрещин. Они, как правило, используются для устранения износа рабочих поверхностей деталей. Возможная толщина наращивания их достигается 0,2 мм и может быть увеличена за счет повторного завешивания деталей в ванну хромирования. В результате эксплуатационных испытаний деталей автомобилей, восстановленных хромированием, установлено, что их износостойкость возрастает: цилиндров двигателя – в 2 – 14 раз, поршневых колец – в 2 – 4 раза, стержней клапанов – в 3 – 4 раза, кулачков распределительного вала – в 3 – 4 раза, поршневых пальцев – в 1,1 – 2,7 раза, шеек коленчатого вала – в 3 – 6 раз, крестовин кардана – в 2 – 4 раза и т.д.

Матовые (серые) покрытия электролитического хрома получают при высокой катодной плотности тока ($70 \dots 100 \text{ А/дм}^2$) и температуре электролита менее $45 \text{ }^\circ\text{С}$. Эти осадки характеризуются большой твердостью ($H\mu=1000 \dots 1200 \text{ кгс/мм}^2$), хрупкостью, наличием слишком густой сетки микротрещин. Они обладают низкой износостойкостью и в целях восстановления деталей не применяются.

3.2. Номенклатура восстанавливаемых деталей

Применимость электролитического хромирования для восстановления изношенных деталей машин доказана многолетней практикой. В настоящее время его применяют для восстановления стальных и чугунных деталей, работающих в подвижных и неподвижных соприкосновениях и имеющих износ своих цилиндрических рабочих поверхностей до $0,5 \text{ мм}$ по диаметру. При ремонте автомобилей, тракторов и строительных машин чаще всего такими деталями являются поршневые пальцы, клапаны, толкатели клапанов, оси коромысел клапанов, валики водяных и масляных насосов, валы коробок передач и раздаточных коробок, распределительные и коленчатые валы (шейки), оси сателлитов (крестовины) дифференциалов, валы рулевых сошек, шкворни, поворотные цапфы (шейки), цилиндры двигателей внутреннего сгорания, плунжеры топливных насосов, иглы бесштифтовых распылителей форсунок, штоки силовых гидроцилиндров, золотники гидрораспределителей и т.д. Возможно также восстанавливать и упрочнять хромированием детали из алюминиевых сплавов.

3.3. Особенности процесса хромирования

В отличие от большинства металлов, электролитически осаждаемых из растворов их солей, хром осаждают из раствора хромовой H_2CrO_4 и двуххромовой $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ кислот, получаемых растворением в воде хромового ангидрида. Составы электролитов для хромирования весьма разнообразны. Но в большинстве случаев они состоят из двух основных компонентов: хромового ангидрида CrO_3 и серной кислоты H_2SO_4 . Рациональное содержание H_2SO_4 в электролите равно 1% от содержания CrO_3 . В ремонтном производстве для наращивания изношенных поверхностей деталей чаще всего используют стандартный электролит, содержащий 250 г/л CrO_3 и $2,5 \text{ г/л H}_2\text{SO}_4$. Процесс ведут при температуре $50 - 60 \text{ }^\circ\text{С}$ и катодной плотности тока $25 - 50 \text{ А/дм}^2$.

Восстанавливаемые детали являются катодами. Аноды обычно применяют нерастворимые, преимущественно из свинца $C1...C3$ или сплава свинца с сурьмой $СС_{y1}...СС_{y8}$. Необходимая концентрация электролита обеспечивается периодической добавкой в него соответствующих компонентов.

Поскольку хром наращивают из растворов кислот при использовании нерастворимых анодов, то особенности его электроосаждения заключаются в следующем. При электролизе хрома на катоде (детали) происходят такие процессы: выделение металлического хрома, разряд ионов водорода с последующим включением его в кристаллическую решетку покрытия или выделением в газообразном виде, восстановление шестивалентного хрома до трехвалентного, образование воды. На аноде выделяется газообразный кислород и трехвалентный хром окисляется в хромовую кислоту.

Из этого следует, что процесс формирования хромового покрытия не является основным, так как на него расходуется лишь небольшая часть электрического тока. В основном протекают реакции выделения водорода и кислорода, для удаления которых требуется мощная вытяжная вентиляция. Поскольку значительная часть проходящего через ванну хромирования электрического тока расходуется на побочные процессы, то катодный выход хрома по току весьма мал и в зависимости от условий электролиза лежит в пределах 12...18 %. Скорость наращивания хрома не превышает 0,03 мм/ч (см. табл. 2).

3.4. Технология хромирования

Схема технологического процесса устранения износа деталей хромированием изображена на рис. 22. Из всех операций технологии хромирования рассмотрим только специфические.

При хромировании электрохимическая подготовка поверхностей проводится путем анодного или химического декапирования (активирования). *Анодное декапирование* осуществляется обработкой деталей под током на аноде в отдельной ванне декапирования, содержащей раствор хромового ангидрида, или же в самой ванне хромирования. *Химическое декапирование* – травление деталей в растворах серной, соляной, азотной или плавиковой кислот.

Наилучшее сцепление осадков хрома со стальными и чугунными деталями достигается тогда, когда анодное декапирование восстанавливаемых поверхностей проводят непосредственно в ванне хромирования.

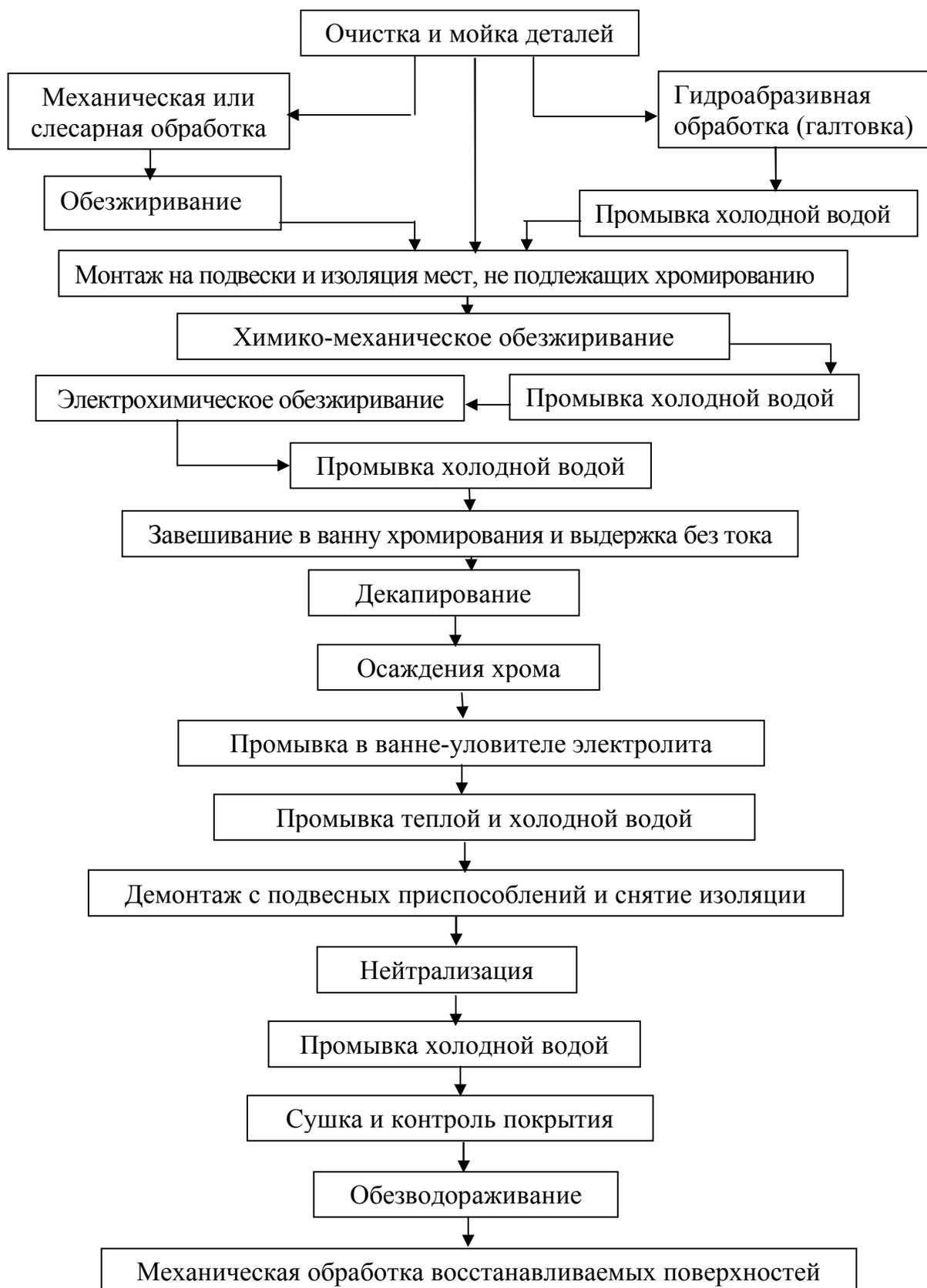


Рис. 22. Схема технологического процесса восстановления деталей электролитическим хромированием

Для этого детали вначале выдерживают в электролите без тока для прогрева, а затем дается ток обратного направления (деталь является анодом). Стальные детали декапируют при анодной плотности тока $D_a=30 - 70 \text{ А/дм}^2$ в течение 30–90 с, а детали из серого чугуна – при $D_a=20 - 25 \text{ А/дм}^2$ и продолжительности травления 10 – 30 с, после чего переключателем меняют направление тока (деталь становится катодом). При этом для рельефных деталей рекомендуется в начале электролиза давать "толчок" тока, т.е. электролиз начинать при токе, в 1,5 – 2,0 раза превышающем расчетную величину. Спустя 1–2 мин его плавно снижают до рабочего значения I_k , при котором производится выдержка для получения необходимой толщины покрытия (расчетное время).

Ввиду высокой стоимости хромового ангидрида первую промывку деталей после осаждения хрома рекомендуется проводить в ванне-уловителе электролита, заполненной дистиллированной водой. Это позволяет снизить потери электролита при выгрузке деталей из ванны хромирования. Промывочная вода из ванны-уловителя используется для поддержания постоянного уровня электролита в ванне хромирования.

Сушку деталей осуществляют в сушильном шкафу, обдувкой сжатым воздухом или протиркой ветошью. Детали, прошедшие сушку, подвергаются контролю на качество хромового покрытия. Такой контроль в производственных условиях включает в себя внешний осмотр нарощенных поверхностей (визуально), определение твердости покрытия (набором эталонных напильников или микротвердомером ПМТ–3), замер толщины осадка (микрометром, штангенциркулем), проверку прочности сцепления (методом удара молотком с полукруглым бойком, нанесением сетки царапин, эксцентричным обтачиванием). Качественное покрытие хрома должно быть светло-серого (блестящего) цвета с синеватым или молочно-матовым оттенком, гладким, без дендритов и бугорков, не должно иметь пригара, питтинга и вздутий. Толщина его должна быть примерно равна расчетной. При легком остукивании молотком (по поверхности и торцам детали) оно не должно вспучиваться, отслаиваться и осыпаться. Допускается небольшая шероховатость осадка.

Необходимой операцией при восстановлении стальных термообработанных деталей хромированием является обезводороживание (удаление водорода из покрытия). Оно производится перед механической обработкой детали или после неё путем прогрева деталей в моторном масле при температуре 170...200 °С в течение 1,0...1,5 ч. При

этом одновременно с удалением водорода происходит насыщение маслом образовавшихся в наращенном слое хрома пор и микротрещин. Это благоприятно сказывается на дальнейшей работе восстановленной детали.

Подробное содержание операций технологического процесса электролитического наращивания хрома на изношенные поверхности деталей, требования к их выполнению приведены в табл. 4.

3.5. Недостатки хромирования, пористое хромирование

Существенными недостатками применения электролитического хрома для восстановления деталей являются:

- а) длительность процесса и относительно высокая стоимость;
- б) недостаточные технологические возможности (предельно достигаемая толщина хрома не превышает 0,2 мм);
- в) снижение предела выносливости восстановленных деталей на 25...65 % за счет наличия опасных концентратов напряжений в покрытии и явления водородной хрупкости. С этим необходимо считаться при хромировании деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок;
- г) плохая смачиваемость гладкого электролитического хрома маслами (масляная пленка разрывается и стекает с покрытия). Это отрицательно сказывается на работоспособности деталей в условиях недостаточной смазки и при больших нагрузках и температурах приводит к задиру трущихся поверхностей, быстрому их износу;
- д) электролитический хром очень плохо работает по хрому (не рекомендуется в хромированные цилиндры двигателя устанавливать хромированные поршневые кольца).

Для повышения работоспособности деталей, работающих в условиях ограниченной смазки, хромовые покрытия осаждают по режимам, обеспечивающим получение в покрытии сетки микротрещин (пор и каналов). При этом отношение $\text{CrO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$ рекомендуется поддерживать в пределах 105...110, что способствует получению оптимальной степени пористости. Затем поры и каналы расширяют и углубляют путем кратковременного электрохимического растворения осадка (анодного травления). Его проводят или после механической обработки, или же по окончании процесса наращивания, не вынимая детали из ванны хромирования (переключают деталь с катода на анод). Процесс ведут при $D_a=30...40 \text{ А/дм}^2$ в течение 5...10 мин.

Технологический процесс электролитического наращивания хрома на изношенные поверхности деталей

№ опер.	Наименование и содержание операции	Применяемое оборудование и инструмент	Раствор и рабочий режим	Особые указания
1	2	3	4	5
1	ОЧИСТКИ очистить деталь от нагара, ржавчины, смолистых и лаковых отложений; протереть ветошью	Верстак слесарный. Щетка стальная. Шабер плоский (трехгранный). Ветошь обтирочная	-	На детали не должно быть ржавчины, нагара, смолистых и лаковых отложений
2	СЛЕСАРНАЯ удалить на детали заусенцы, зачистить задиры, обработать восстанавливаемую поверхность шлифовальной шкуркой, протереть ветошью	Верстак слесарный. Шкурка шлифовальная №80-М63. Напильник трехгранный 150x9-1. Ветошь обтирочная	-	Наличие на восстанавливаемой поверхности заусенцев, задиров, резко выраженных следов износа недопустимо
3	ОБЕЗЖИРИВАНИЯ промыть деталь в бензине, протереть ветошью	Емкость с бензином. Кисть волосная. Ветошь обтирочная	Бензин неэтилированный Б-70, БР-1, А-80	Пятна масла, следы смазки и остатки абразива должны быть удалены
4	ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ замерить диаметр, длину восстанавливаемой поверхности и определить ее площадь, рассчитать загрузку по току ванны электрохимического обезжиривания и хромирования, вычислить необходимую толщину наращиваемого слоя и продолжительность осаждения хрома	Стол лабораторный. Микрометр 0 – 25 мм. Линейка измерительная 150 мм	-	См. п. 2.4. Загрузку ванны износоустойкого хромирования определять с учетом выполения анодного декапирования и хромирования. Величины $D_{\text{в}}$, $D_{\text{с}}$, D см. операции 7, 10
5	МОНТАЖНАЯ закрепить деталь в подвесном приспособлении, изолировать места, не подлежащие	Верстак слесарный. Подвесное приспособление	-	Обеспечить гарантированный контакт детали с подвесным приспособлением

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5
1	наращиванию хрома	(подвеска). Изоляционные экраны, кожухи		и надежность защитной изоляции
6	ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗЖИРИВАНИЯ прогреть поверхность, подлежащую восстановлению, обезжиривающей смесью, промыть струей холодной воды	Ванна химического обезжиривания. Подвеска с де-талью. Кисть волосяная. Раковина умывальника	Известь венская (смесь СаО+MgO) в кашицеобразном состоянии. Вода	Операцию повторить несколько раз, вода должна равномерно смачивать всю поверхность детали
7	ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОБЕЗЖИРИВАНИЯ завешать подвеску с деталью в ванну, включить источник питания и установить расчетную величину переменного тока, обезжирить, отключить ток, вынуть подвеску с детали из ванны, выдержат над ванной, чтобы стек раствор, опустить в кружку (для переноса)	Ванна электрохимического обезжиривания. Подвеска с деталью. Электроды (сталь 12Х18Н10Т). Кружка полиэтиленовая (фарфоровая)	10г/л NaOH + 25 г/л Na ₂ CO ₃ +25 г/л Na ₃ PO ₄ + 5 г/л ОП-7+ вода. t = 40–50 °С. D = 8 А/дм ² . τ = 5 мин	Обеспечить надежный контакт подвески и электродов со штангами ванны
8	МОЕЧНАЯ промыть подвеску с деталью в холодной и выдержат 3 мин в теплой воде	Ванна промывки теплой водой. Ванна промывки холодной водой. Подвеска с деталью	Вода	Разрывы пленки холодной воды на поверхности детали недопустимы, деталь должна быть прогрета
9	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ удалить шлифовальной шкуркой с поверхности анодов оранжевого цвета (при её наличии), промыть аноды струей холодной воды, ополоснуть теплой водой, завешать аноды в ванну хромирования	Аноды (свинец С-2). Шкурка шлифовальная №200-100. Стол лабораторный. Раковина умывальника. Ванна промывки теплой водой. Ванна износостойкого хромирования	Вода	Рабочая поверхность анодов должна быть коричневого цвета. Наличие пленки оранжевого цвета недопустимо. При выполнении этой операции подвеска с деталью должна находиться в теплой воде

Продолжение табл. 4

1	2	3	4	5
10	<p>ОСАЖДЕНИЯ ХРОМА завешать подвеску с деталью в ванну хромирования, выдерживать в электролите без тока 10 с, включить источник питания ванны и установить величину тока анодного декапирования, выдерживать 70 с, изменить переключателем направления тока, выдерживать 40 с, установить расчетную величину рабочего тока, выдерживать деталь в ванне до получения осадка необходимой толщины, выключить ток, вынуть подвеску с деталью из ванны, выдерживать над ванной, чтобы стек электролит</p>	<p>Ванна износостойкого хромирования. Подвеска с деталью. Аноды (свинец С-2)</p>	<p>250 г/л $\text{CrO}_3 + 2,5$ г/л $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{вода}$. $t = 50 - 60 \text{ }^\circ\text{C}$. Для стали $D_a = 55$ $\text{A}/\text{дм}^2$, выдержка 70 с. $D_K = 40 \text{ A}/\text{дм}^2$ (τ - расчетное)</p>	<p>Обеспечить надежный контакт подвески и анодов со штангами ванны хромирования. Перерывы тока недопустимы. При выполнении операции поддерживать необходимую температуру электролита и расчетные величины токов питания ванны</p>
11	<p>МОЕЧНАЯ ополоснуть подвеску с деталью в емкости для улавливания электролита, опустить подвеску в кружку (для переноса), промыть теплой и холодной водой</p>	<p>Емкость для улавливания электролита. Подвеска с деталью. Ванны промывки теплой и холодной водой. Кружка полиэтиленовая (фарфоровая)</p>	<p>Вода</p>	<p>На детали, подвеске и защитных экранах не должно быть остатков электролита хромирования</p>
12	<p>НЕЙТРАЛИЗАЦИИ выдерживать подвеску с деталью в нейтральном растворе, промыть холодной водой</p>	<p>Ванна нейтрализации. Подвеска с деталью. Ванна промывки холодной водой</p>	<p>10 %-ный раствор Na_2CO_3. $t = 18 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$. $\tau = 5 - 10$ мин. Вода</p>	<p>Промывку холодной водой производить после выполнения операции 13, обеспечить полное удаление нейтрализующего раствора</p>
13	<p>МОЕЧНАЯ вынуть из ванны хромирования аноды, ополоснуть их в емкости для улавливания электролита, перенести в раковину, промыть струей холодной воды, протирая поверхность волосяной щеткой</p>	<p>Ванна хромирования. Емкость для улавливания электролита. Раковина умывальника. Аноды (свинец С-2). Кисть волосяная. Кружка полиэтиленовая</p>	<p>Вода</p>	<p>На анодах не должно остаться следов электролита хромирования. При выполнении этой операции подвеска с деталью должна находиться в ванне нейтрализации</p>

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5
14	СЛЕСАРНАЯ снять деталь с подвесного приспособления, снять с детали защитную изоляцию	Верстак слесарный. Подвеска с деталью	-	Обеспечить исправностью подвесного приспособления и защитных экранов
15	КОНТРОЛЬНАЯ протереть деталь насухо, проверить качество покрытия на восстанавливаемой поверхности, определить толщину нарушительного слоя	Стол лабораторный. Ветошь обтирочная. Молоток с полукруглым бойком 200 г. Микрометр 0–25 мм	-	Покрытие должно быть блестящим с матовым оттенком, гладким без дендритов, питтинга, вздутий. Допускается небольшая шероховатость. При остуживании молотком на поверхности не должно быть вмятин, вспучивание и отслаивание осадка при этом недопустимы

Примечания: 1. Приведенный технологический процесс хромирования стальных деталей полностью не учитывает условий получения равномерного слоя хрома точно до заданного размера (размерное хромирование). 2. При таком способе хромирования создается экономия в электроэнергии, хромовом ангидриде и в расходах на механическую обработку, т.к. детали сохраняют первоначальную форму и направляются в производство без окончательной механической обработки (кроме притирки). 3. Размерное хромирование возможно только при наращивании хрома толщиной 10 – 30 мкм. В ремонтном производстве оно применяется при восстановлении прецизионных деталей (плунжеров топливных насосов, игл бесштифтовых распылителей форсунок, золотников гидрораспределителей и т. д.).

При этом покрытие хрома растворяется преимущественно в местах пор и трещин. В результате они расширяются и углубляются. Глубина их составляет примерно 1/3 толщины покрытия, площадь – 30...40 % от общей площади осадка. Такой технологический способ называют пористым хромированием.

Пористое хромовое покрытие хорошо удерживает на своей поверхности смазочные масла и способствует их аккумуляции (возрастает маслоёмкость осадка). Это увеличивает износостойкость восстановленных поверхностей, работающих при ограниченной смазке, в 2...5 раз. Такое покрытие хорошо прирабатывается к другой, не хромированной поверхности, и, несмотря на уменьшение площади фактического контакта трущихся пар, способно выдерживать значительные равномерно распределенные нагрузки. Но, с другой стороны, увеличивает износ сопряженных поверхностей (поршневых колец, вкладышей подшипников и т.д.).

3.6. Специальные способы хромирования

3.6.1. Хромирование в саморегулирующихся электролитах

Для хромирования широко применяется сернокислый электролит (раствор CrO_3 и H_2SO_4). В нем наибольший выход хрома по току и наилучшее качество хромовых покрытий обеспечиваются при соотношении $\text{CrO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4=100/1$. Но в процессе электролиза это соотношение трудно выдержать (применение нерастворимых анодов приводит к непостоянству состава электролита). Этим обусловлена необходимость частого проведения анализов и корректировок такого электролита.

Кроме этого, сернокислый электролит обладает следующими технологическими недостатками: малым значением α_k (не выше 13 %), большой чувствительностью к изменению температуры, недостаточной рассеивающей способностью и нестабильностью процесса электролиза.

Перечисленные недостатки могут быть устранены использованием так называемых саморегулирующихся электролитов. Это электролиты, в которых оптимальное соотношение $\text{CrO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4=100\pm 10$, характеризующее содержание сульфат-ионов SO_4^{--} , поддерживается на заданном уровне автоматически.

Саморегулирование достигается введением в сернокислый электролит хромирования добавок:

- сернокислого стронция SrSO_4 ;
- кремнефтористого калия K_2SiF_6 ;
- едкого натрия NaOH ;
- сернокислого кальция CaSO_4 (гипс);
- углекислого кальция CaCO_3 (мел).

Первые две добавки являются дефицитными. Наибольшее применение нашли добавки NaOH , CaSO_4 и CaCO_3 . Электролиты с этими добавками называют тетрахроматными. В них хромовая кислота нейтрализуется с образованием тетрахроматов натрия и кальция. Эти добавки вводятся в электролит в количествах, превышающих их растворимость. Они находятся в избытке на дне ванны в виде твердой фазы. Содержание ионов SO_4^{--} , в электролите при изменении концентрации CrO_3 будет постоянным за счет частичного растворения этого избытка.

Достоинства саморегулирующегося тетрахроматного электролита следующие: катодный выход хрома по току достигает 22 % и выше; колебания температуры и плотности тока меньше отражаются на качестве покрытий; хорошая рассеивающая способность; процесс наращивания хрома возможно вести при комнатной температуре; постоянство содержания ионов SO_4^{--} , гарантирует стабильный процесс хромирования. Скорость наращивания хрома в таких электролитах выше в 1,3...1,5 раза. Получаемые покрытия хрома могут применяться для устранения износа деталей и в защитно-декоративных целях.

3.6.2. Хромирование реверсивным током

Реверсирование электрического тока питания гальванической ванны – это периодическое изменение его направления (см. рис. 21, e). Сущность этого способа заключается в том, в процессе электроосаждения хрома через короткие промежутки времени изменяются электрохимические реакции на катоде (детали). При прохождении тока в прямом направлении на катоде формируется слой хрома, в обратном – слой хрома частично растворяется. Режим электрического питания характеризуется в этом случае четырьмя параметрами (см. п. 2.2). Поскольку $D_k \tau_k \gg D_a \tau_a$, то на катоде преобладает процесс наращивания хрома. Эффективность применения реверсивного тока определяется соотношениями $D_k : D_a$, $\tau_k : \tau_a$ и частотой. Для питания ванн

хромирования реверсивным током промышленностью выпускаются выпрямительные агрегаты типа ВАКР, ТВР.

Реверсирование позволяет: снизить катодную поляризацию (увеличить концентрацию ионов хрома в прикатодном слое); применять высокие плотности тока прямого направления (интенсифицировать процесс); улучшить структуру и свойства хромового осадка; увеличить толщину наращиваемого слоя хрома (более 0,2 мм); получать пористые покрытия хрома без последующего электрохимического растравливания микротрещин; уменьшить наводораживание (газонасыщение) покрытия и металла детали.

Благотворное влияние реверсивного тока на качество гальванических покрытий доказано многими исследователями. Реверсирование позволяет получать гладкие без дендритов покрытия хрома с меньшими внутренними напряжениями, снизить вероятность появления водородной хрупкости. Восстановленные детали, как правило, имеют более высокую усталостную прочность и износостойкость.

3.6.3. Вневанное хромирование

Вневанное хромирование применяется для устранения износа отдельных поверхностей (шеек валов, отверстий) различных габаритных деталей сложной конфигурации. Сущность его заключается в использовании временных гальванических ячеек. Оно может быть осуществлено различными способами (безванным и проточным). При этом отпадает необходимость изоляции остальных поверхностей, упрощаются подготовительные операции.

Безванный способ (см. рис. 17) возможно применять только при наращивании слоя хрома малой толщины. В противном случае стабильность процесса электролиза нарушается (трудно поддерживать оптимальное соотношение $\text{CrO}_3/\text{H}_2\text{SO}_4$). Получение качественных покрытий хрома ограничивается в этом случае объёмом залитого в ячейку электролита хромирования.

Проточный способ (см. рис. 19) позволяет применить высокие катодные плотности тока (интенсифицировать процесс наращивания) и улучшить качество покрытий электролитического хрома. При скорости протока электролита 50...120 см/с и температуре 55...65 °С возможно применять $D_k = 120...140 \text{ А/дм}^2$. Катодный выход хрома по току увеличивается до 25...28 %, скорость наращивания возрастает в 1,5...2,0 раза. В проточном электролите формируются гладкие покры-

тия хрома равномерной толщины и работоспособной структуры. Трещиноватость их снижается, твердость увеличивается, наводораживание уменьшается. Снижение внутренних напряжений и уменьшение поглощения осадком хрома десорбированного водорода обуславливают высокую работоспособность восстанавливаемых деталей.

Принудительная подача электролита хромирования в пространство между восстанавливаемой поверхностью детали и анодом возможна только при наличии специальной установки. Она должна включать в себя: стол для деталей, комплект гальванических ячеек, ванну с электролитом хромирования, кислотостойкий насос, систему трубопроводов и арматуры, источник электрического питания, приборы контроля и регулирования.

3.6.4. Хромирование в ультразвуковом поле

Ультразвуковые колебания (УЗК) подводятся к гальванической ванне с помощью магнитострикционных преобразователей, закрепляемых под дном или сбоку стенки ванны (снаружи). Ванна устанавливается в кожух. Пространство между кожухом и ванной заполняется водой.

Ультразвук частотой 20...30 кГц обеспечивает перемешивание электролита. В результате концентрация ионов хрома в прикатодном слое возрастает (снижается поляризация) и облегчается удаление газообразного водорода с восстанавливаемой поверхности. Он оказывает значительное влияние на структуру и свойства электролитического хрома, позволяет применять высокие значения D_k и получать равномерные по толщине осадки с меньшими внутренними напряжениями. Электролитическое осаждение хрома в ультразвуковом поле является эффективным технологическим приемом повышения производительности процесса хромирования и улучшения качества хромовых покрытий.

Применение этого способа наиболее целесообразно при восстановлении и упрочнении деталей из алюминиевых сплавов (на их поверхности всегда находится труднорастворимая окисная пленка, препятствующая прочному сцеплению хрома с металлом детали). Под действием ультразвуковых колебаний эта пленка разрушается, что гарантирует высокую прочность сцепления. Кроме этого, способ успешно используется при восстановлении хромированием плунжеров топливных насосов.

Хромированию в ультразвуковом поле присущи такие недостатки: высокая стоимость установки (нужен генератор УЗК), малый объем ванны хромирования, ограниченная номенклатура восстанавливаемых деталей.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о свойствах и типах осадков электролитического хрома.
2. Какие детали автомобилей восстанавливаются хромированием?
3. Характеризуйте особенности процесса электролитического хромирования.
4. Назовите состав электролита хромирования. Какие при этом применяются аноды?
5. Перечислите операции технологического процесса восстановления деталей хромированием.
6. Какова сущность и цель электрохимической подготовки поверхностей, как она производится при хромировании?
7. По каким параметрам и как производится оценка качества покрытий электролитического хрома?
8. В чем заключаются преимущества пористых хромовых покрытий и как их получают?
9. Зачем в технологии хромирования предусматривается операция "обезводораживание" и как она выполняется?
10. Что такое саморегулирующиеся электролиты хромирования и в чем их преимущества?
11. Расскажите о хромировании реверсивным током.
12. Как осуществляется вневанное хромирование? Назовите преимущества его применения.
13. Особенности хромирования в ультразвуковом поле.

Глава 4. УСТРАНЕНИЕ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ ОСТАЛИВАНИЕМ

4.1. Осталивание деталей и его технико-экономические показатели

Процесс электроосаждения железа был разработан и впервые применен на практике Якоби и Клейном в экспедиции изготовления государственных бумаг (1868 г). Позднее, в 1914 – 1918 г г., в Англии в ремонтных мастерских военного ведомства производили восстановление деталей железнением из холодных сернокислых электролитов. Но эти электролиты дают низкий выход железа по току и практического применения не нашли.

В России работы по повышению производительности процесса железнения, увеличению твердости осадков железа проводились многими исследователями. Из них М.П. Мелковым были предложены: составы электролитов, режимы электроосаждения, которые позволили получать осадки твердого электролитического железа (ТЭЖ) при высокой производительности. По химическому составу эти осадки близки к малоуглеродистой стали, а по износостойкости они не уступают закаленной среднеуглеродистой стали. Поэтому процесс получения на изношенных поверхностях деталей покрытий ТЭЖ профессор М.П. Мелков назвал "осталиванием". Впервые оно было внедрено на Саратовском авторемонтном заводе в 1956 г. За последующие годы термин "осталивание" получил большое распространение на практике и в технической литературе.

Осталивание обладает хорошими технико-экономическими показателями: исходные материалы и аноды являются дешевыми и недефицитными; процесс наращивания происходит с высоким катодным выходом железа по току ($\alpha_k = 75 - 90 \%$); скорость осаждения железа в 10...15 раз превышает скорость осаждения хрома и равна 0,2 – 0,5 мм/ч; толщина покрытия достигает 0,8–1,0 мм; процесс отличается стабильностью и универсальностью. Наибольшее распространение осталивание получило в ремонтном производстве как один из наиболее эффективных, экономически рациональных способов наращивания изношенных поверхностей. Себестоимость восстановления деталей составляет 30 – 50 % от стоимости новых при примерно равной износостойкости.

4.2. Свойства ТЭЖ и номенклатура восстанавливаемых деталей

Покрyтия ТЭЖ микротвердостью $H\mu = 4\ 000 - 6\ 200$ МПа ($400 - 620$ кгс/мм²) хорошо сцепляются с материалом детали [прочность сцепления более $450-500$ МПа ($45 - 50$ кгс/мм²) обеспечивает надежную работу детали при высоких нагрузках]. Они имеют температуру плавления $1\ 535$ °С и мелкокристаллическую структуру с развитой сеткой микротрещин (см. рис. 8). Наличие этой сетки свидетельствует о незначительной величине остаточных внутренних напряжений в осадке и объясняет меньшее, чем при хромировании, снижение усталостной прочности восстановленных деталей (на $10-35$ %).

Микротрещины (поры) способны накапливать в себе масло, что повышает износостойкость сопряжений, работающих в условиях трения скольжения при недостаточной смазке. Поэтому в некоторых случаях маслoемкость осадков ТЭЖ увеличивают за счет расширения и углубления микротрещин, выходящих на поверхность покрытия (пористое осталивание).

Осталивание применяют для устранения износов стальных и чугунных деталей, работающих в подвижных и неподвижных сопряжениях и имеющих износ своих цилиндрических рабочих поверхностей от $0,1$ до $1,5$ мм. При ремонте автомобилей, тракторов и строительных машин чаще всего такими деталями являются поршневые пальцы, клапаны, толкатели клапанов, оси коромысел клапанов, валики водяных и масляных насосов, шатуны (нижняя головка), распределительные и коленчатые валы (шейки), валы коробок передач и редукторных коробок, корпусные детали (посадочные места под подшипники), оси сателлитов (крестовины) дифференциалов, валы рулевых сошек, поршни аксиально-поршневых насосов, золотники гидравлических распределителей, цилиндры двигателей внутреннего сгорания и т.д. Возможно также восстанавливать и упрочнять осталиванием детали из алюминиевых сплавов.

4.3. Применяемые электролиты и параметры процесса электроосаждения

Для наращивания электролитического железа применяются сернокислые, хлористые, органические электролиты (метилсульфатный,

глицеринсульфатный, сульфосалициловый), электролиты с различными добавками (Na, Ca, Mn, Al), борфтористоводородные и фенолсульфоновые электролиты. Однако наибольшее применение при осталивании находят горячие хлористые электролиты простого состава, рекомендованные М.П. Мелковым. Другие же электролиты по причинам технологического и экономического характера не получили распространения в ремонтной практике.

Опыт работы участков осталивания показывает, что наиболее распространенным является простой хлористый электролит, содержащий 320...370 г/л $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и 1,0–2,0 г/л HCl . В производственных условиях состав такого электролита проще контролировать и корректировать.

Простой хлористый электролит осталивания готовят путем травления стальной стружки в соляной кислоте. Процесс осаждения в этом электролите ведут при $t = 65\text{--}75\text{ }^\circ\text{C}$ и $D_k = 20\text{--}40\text{ А/дм}^2$. В нем могут быть реализованы все способы электроосаждения.

При осталивании применяются растворимые аноды (стержни или пластины из стали марок 08, 10, 20). Убыль ионов железа из электролита компенсируется за счет растворения анодов. Для уменьшения загрязнения электролита анодным шламом их помещают в чехлы из кислотостойкой ткани (шерстяной или стеклоткани ТСФа-9П).

4.4. Технология осталивания

Технологический процесс устранения износа осталиванием состоит из последовательного выполнения следующих операций: очистка и мойка деталей; механическая или слесарная обработка (возможна гидроабразивная обработка); промывка холодной водой; монтаж на подвески и изоляция мест, не подлежащих покрытию; химико-механическое обезжиривание; промывка холодной водой; электрохимическое обезжиривание; промывка холодной водой; электрохимическая подготовка; промывка холодной и теплой водой; завешивание в ванну осталивания и выдержка без тока; разгон тока; электроосаждение железа; промывка теплой и холодной водой; демонтаж с подвесок и снятие защитной изоляции; нейтрализация; промывка холодной водой; сушка и контроль качества покрытия; механическая обработка. Схема типового технологического процесса осталивания изображена на рис. 23.

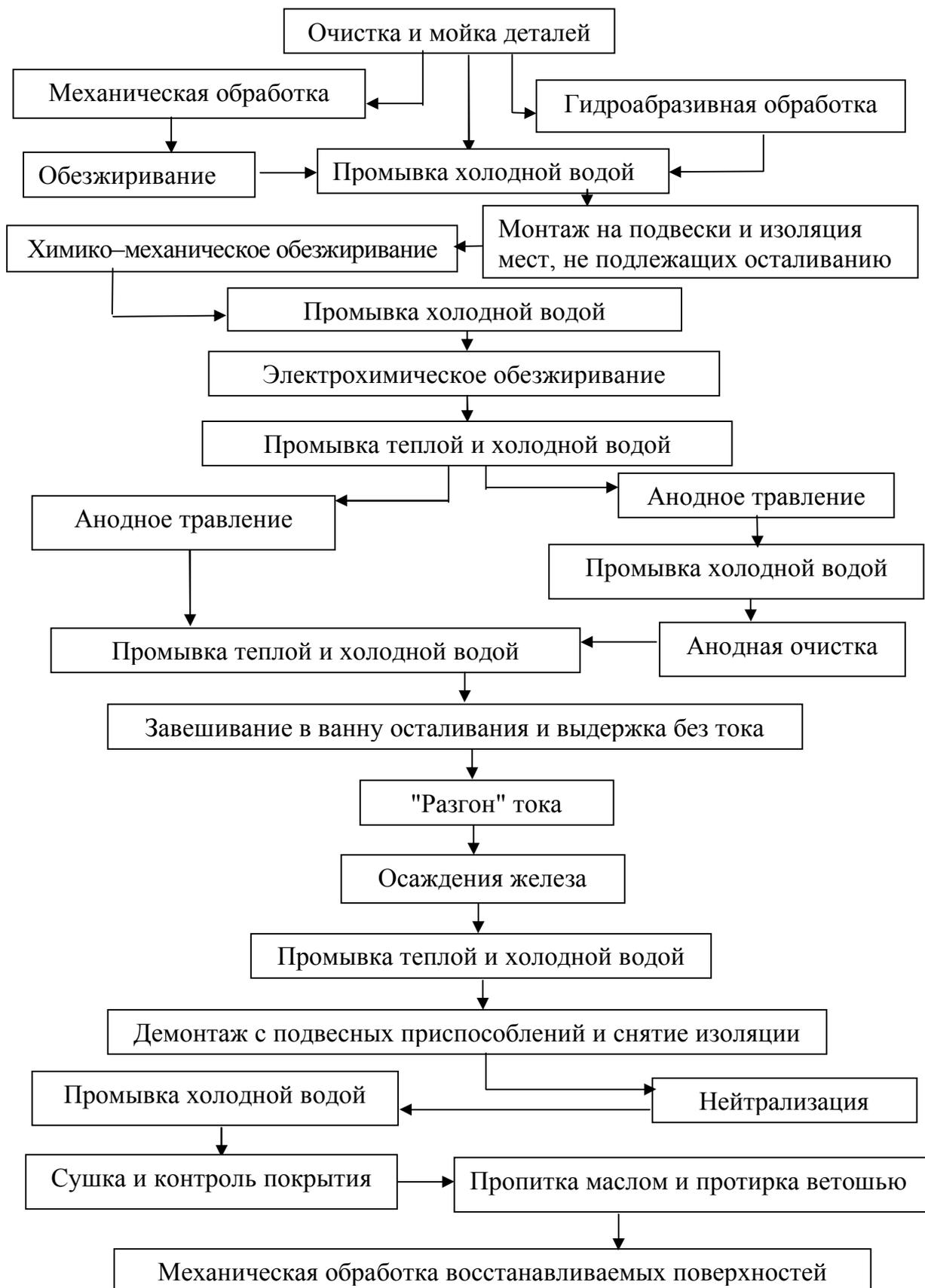


Рис. 23. Схема технологического процесса восстановления деталей твердым электролитическим железом

Приведенный технологический процесс не является универсальным. Материал и конфигурация восстанавливаемых деталей, состояние изношенных поверхностей, требования к механическим свойствам наращиваемого покрытия в каждом конкретном случае обуславливают количество и последовательность операций, их объем и приемы выполнения. Но общая структура технологического процесса восстановления деталей ТЭЖ сохраняется в любом случае.

Специфика технологии осталивания заключается в следующем. В ремонтном производстве применяют два варианта технологического процесса осталивания, отличающиеся друг от друга способом электрохимической подготовки восстанавливаемых поверхностей. По первому варианту она проводится анодным травлением в 30 %-ном растворе серной кислоты H_2SO_4 при $t = 18-25$ °С, анодной плотности тока $D_a = 30 - 70$ А/дм² в течение 1–2 мин. Деталь при этом навешивают в ванну анодного травления в качестве анода, катодами служат свинцовые пластины. Под действием электрического тока происходит интенсивное травление поверхности детали, а выделяющиеся пузырьки кислорода срывают травильный шлак и обрабатываемая поверхность становится чистой, с отчетливо выявленной структурой и специфическим микрорельефом. Образующаяся при этом на поверхности детали пассивная пленка защищает ее от окисления при последующей промывке.

Для стальных деталей, изношенные поверхности которых цементированы и закалены до высокой твердости, рекомендуется электрохимическую подготовку проводить анодным травлением в растворе хлористого железа $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ и последующей анодной очисткой в 30 %-ном растворе H_2SO_4 (второй вариант электрохимической подготовки). Хлористый электролит дает возможность получить любой требуемый эффект травления. Но после этой операции на поверхности детали остается темный рыхлый слой травильного шлама, который удаляется анодной очисткой в 30 %-ном растворе H_2SO_4 . При этом одновременно с очисткой от шлама поверхность детали пассивируется. Качество электрохимической подготовки при обоих вариантах проверяют по внешнему виду восстанавливаемых поверхностей. Правильно обработанная поверхность стальных деталей должна иметь характерный матовый тускло-серебристый цвет. Наличие блеска, темных пятен и следов травильного шлама недопустимо.

Для получения высокой прочности сцепления покрытия ТЭЖ с материалом детали важно, чтобы пассивная пленка, образовавшаяся

при анодном травлении (очистке), была разрушена непосредственно перед осаждением железа. Тогда первые атомы железа будут осаждаться на активную чистую поверхность детали и прочно с ней срачиваться. Активирование поверхности (разрушение пассивной пленки) происходит при выполнении переходов "выдержка без тока" и "разгон тока" (постепенное повышение катодной плотности тока с начальной до рабочей). При этом пассивная пленка восстанавливается ионами водорода и хлора, имеющимися в электролите, и водородом, который выделяется на катоде вместе с железом. Выполняются эти переходы следующим образом. Деталь завешивается на катодную штангу ванны осталивания и выдерживается в электролите без тока в течение 10 – 60 с. После этого включают источник электрического питания ванны осталивания, устанавливают ток плотностью 2–5 А/дм² и проводят электролиз в течение 5 мин. Затем увеличивают ток до плотности 10 А/дм² (выдержка 3 мин), 20 А/дм² (выдержка 2 мин) и 20-40 А/дм² (рабочая катодная плотность тока). При этой D_k производится выдержка до получения необходимой толщины покрытия (расчетное время). При необходимости осаждения ТЭЖ на детали из бронзы и латуни (например, наращивание наружной поверхности втулок после восстановления их внутреннего размера обжатием) вместо анодного травления в 30%-ном растворе H₂SO₄ производят химическое травление в концентрированной HNO₃ и декапирование в 10%-ном растворе H₂SO₄. В этом случае "выдержка без тока" в электролите осталивания не делается. После наращивания железа детали, прошедшие сушку, подвергаются контролю на качество покрытия. В производственных условиях он включает в себя внешний осмотр наращенных поверхностей (визуально), определение твердости покрытия (набором эталонных напильников или микротвердомером ПМГ-3), замер толщины осадка (микрометром, штангенциркулем), проверку прочности сцепления (методом удара молотком с полукруглым бойком, нанесением сетки царапин, эксцентричным обтачиванием). Качественное покрытие ТЭЖ должно быть гладким, темного цвета, без блеска, питтинга и бугорков, не должно иметь большого количества дендритов, шелушений, вздутий. Твердость и толщина его должны соответствовать расчетным величинам. При легком отстукивании молотком (по поверхности и торцам детали) оно не должно отслаиваться и осыпаться. Содержание операций технологического процесса наращивания ТЭЖ на изношенные поверхности деталей, требования к их выполнению приведены в табл. 5.

Таблица 5

Технологический процесс наращивания твердого электролитического железа на изношенные поверхности деталей

№ опер.	Наименование и содержание операции	Применяемое оборудование и инструмент	Раствор и рабочий режим	Особые указания
1	2	3	4	5
1	ОЧИСТКИ очистить деталь от нагара, ржавчины, смолистых отложений, протереть ветошью	Верстак слесарный. Щетка стальная. Шабер плоский (треугольный). Ветошь обтирочная	-	На детали не должно быть ржавчины, нагара, смолистых и маслянисто-грязевых отложений
2	СЛЕСАРНАЯ притупить острые кромки на детали, удалить заусенцы, зачистить задиры, обработать восстанавливаемую поверхность шлифовальной шкуркой, протереть ветошью	Верстак слесарный. Напильник плоский 150-1. Шкурка шлифовальная №50-М40. Ветошь обтирочная	-	Наличие на восстанавливаемой поверхности заусенцев, задиров, резко выраженных следов износа недопустимо
3	ОБЕЗЖИРИВАНИЯ промыть деталь в бензине, протереть ветошью	Емкость с бензином. Кисть волосяная. Ветошь обтирочная	Бензин неэтилированный Б-70, БР-1, А-80	Пятна масла, следы смазки и остатки абразива должны быть удалены
4	ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ замерить диаметр, длину восстанавливаемой поверхности и определить ее площадь, рассчитать загрузку по току ванн электрохимического обезжиривания, анодного травления, осталивания, вычислить необходимую толщину наращиваемого слоя и продолжительность осаждения железа	Стол лабораторный. Микrometer 0 – 25 мм. Линейка измерительная 150 мм	-	См. п. 2.4. Загрузку ванны осталивания определять с учетом начальной, промежуточных и рабочей катодной плотности тока. Величины D , D_a , D_{κ} см. операции 7, 9, 12
5	МОНТАЖНАЯ закрепить деталь в подвесном приспособлении, изолировать места, не подлежащие	Верстак слесарный. Подвесное приспособление (подвеска). Изоляцион-	-	Обеспечить гарантированный контакт детали с подвесным приспособлением

Продолжение табл. 5

1	2	3	4	5
1	наращиванию ТЭЖ	наые экраны (кожухи)	-	и надежность защитной изоляции
6	<p>ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗЖИРИВАНИЯ</p> <p>протереть поверхность, подлежащую восстановлению, обезжиривающей смесью, промыть струей холодной воды</p>	<p>Ванна химического обезжиривания. Подвеска с деталью. Раковина умывальника. Кисть волосяная</p>	<p>Известь венская (смесь СаО + MgO) в кашицеобразном состоянии. Вода</p>	<p>Операцию повторить несколько раз, вода должна равномерно смачивать всю поверхность детали</p>
7	<p>ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОБЕЗЖИРИВАНИЯ</p> <p>завешать подвеску с деталью в ванну, включить источник питания и установить расчетную величину переменного тока, обезжирить, отключить ток, вынуть подвеску с деталью из ванны, выдержать над ванной, чтобы стек раствор, опустить в кружку (для переноса)</p>	<p>Ванна электрохимического обезжиривания. Подвеска с деталью. Электроды (сталь 12Х18Н10Т). Кружка полиэтиленовая (фарфоровая)</p>	<p>10г/л NaOH + 25 г/л Na₂CO₃ + +25г/л Na₃PO₄ + 5 г/л ОП-7+ вода. $t = 40-50^{\circ}\text{C}$. $D = 8 \text{ A/дм}^2$. $\tau = 5 \text{ мин}$</p>	<p>Обеспечить надежный контакт подвески и электродов со штангами ванны</p>
8	<p>МОЕЧНАЯ</p> <p>промыть подвеску с деталью в теплой воде, ополоснуть холодной водой</p>	<p>Ванна промывки теплой водой. Ванна промывки холодной водой. Подвеска с деталью</p>	<p>Вода</p>	<p>Разрывы пленки холодной воды на поверхности детали недопустимы</p>
9	<p>АНОДНОГО ТРАВЛЕНИЯ</p> <p>завесить подвеску с деталью в ванну, выдержать без тока 5 с, включить источник питания ванны и установить расчетную величину тока, травить на аноде, выключить ток, вынуть подвеску с деталью из ванны, выдержать над ванной, чтобы стек электролит, опустить в кружку (для переноса)</p>	<p>Ванна анодного травления. Подвеска с деталью. Катоды (свинцовые С-1). Кружка полиэтиленовая (фарфоровая)</p>	<p>365 г/л H₂SO₄ + (10-25)г/л·FeSO₄·7H₂O+вода. $t = 18-25^{\circ}\text{C}$. $D_a = 60 \text{ A/дм}^2$. $\tau = 1,5 \text{ мин}$</p>	<p>Поддерживать необходимую величину тока. Поверхность детали должна быть матовой (тускло-серебристой), наличие темных пятен и блеска недопустимо</p>

Продолжение табл. 5

1	2	3	4	5
10	<p>МОЕЧНАЯ промыть подвеску с деталью в холодной воде и выдержать 3 мин в теплой воде</p>	<p>Ванна промывки холодной водой. Ванна промывки теплой водой. Подвеска с деталью</p>	<p>Вода</p>	<p>На детали и защитных экранах не должно быть остатков электролита анодного травления. Деталь должна быть прогрета</p>
11	<p>ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ очистить аноды стальной щеткой от ржавчины, ополоснуть струей холодной воды, промыть теплой водой, завешать аноды в ванну осталивания</p>	<p>Аноды (сталь 10 – 20). Щетка стальная. Раковина на умывальника. Ванна промывки теплой водой. Ванна осталивания</p>	<p>Вода</p>	<p>На анодах не должно быть ржавчины. При выполнении этой операции подвеска с деталью должна находиться в теплой воде</p>
12	<p>ОСАЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗА завешать подвеску с деталью в ванну осталивания, выдержать в электролите без тока 30 с, включить источник питания ванны и установить начальную плотность тока, произвести разгон до рабочей плотности тока, выдержать деталь в ванне до получения осадка необходимой толщины, выключить ток и вынуть подвеску с деталью из ванны, выдержать над ванной, чтобы стек электролит, опустить в кружку (для переноса)</p>	<p>Ванна осталивания. Подвеска с деталью. Аноды (сталь 10–20). Кружка полиэтиленовая (фарфоровая)</p>	<p>350 г/л FeCl₂·4H₂O+1,5 г/л HCl+ вода. t = 65 – 75 °C. D_K=5 A/дм², τ = 5 мин. D_K=10 A/дм², τ = 3 мин. D_K = 20 A/дм², τ = 3 мин. D_K = 30 A/дм², τ – расчётное</p>	<p>Обеспечить надежный контакт подвески и анодов со штангами ванны осталивания. Перерывы тока недопустимы. В процессе электроосаждения поддерживать температуру необходимую для электролита и рабочую величину тока</p>
13	<p>МОЕЧНАЯ промыть подвеску с деталью в теплой воде, ополоснуть холодной водой</p>	<p>Ванна промывки теплой водой. Ванна промывки холодной водой. Подвеска с деталью</p>	<p>Вода</p>	<p>На детали, подвеске и защитных экранах не должно быть остатков хлористого электролита</p>

Окончание табл. 5

1	2	3	4	5
14	НЕЙТРАЛИЗАЦИИ выдерживать подвеску с деталью в нейтрализующем растворе, промыть холодной водой	Ванна нейтрализации. Подвеска. Ванна промывки холодной водой	10 %-ный раствор Na_2CO_3 . $t = 18 - 25$ °С. $\tau = 5-10$ мин. Вода	Промывку производить после выполнения операции 15. Обеспечить полное удаление нейтрализующего раствора
15	МОЕЧНАЯ вынуть из ванны осталивания аноды, выдерживать их над ванной, чтобы стек электролит, перенести в раковину умывальника, удалить с их поверхности травильный шлам, промыть струей холодной воды, ополоснуть в нейтрализующем растворе, промыть струей холодной воды	Ванна осталивания. Аноды (сталь 10-20). Кружка полиэтиленовая. Щетка стальная. Кисть волосяная. Раковина умывальника. Ванна нейтрализации	Вода. 10 %-ный раствор Na_2CO_3 . $t = 18-25$ °С	Аноды из ванны осталивания следует вынимать осторожно. Тщательно очистить и промыть, наличие травильного шлама на них недопустимо. При выполнении этой операции подвеска с деталью должна находиться в ванне нейтрализации
16	СЛЕСАРНАЯ снять деталь с подвесного приспособления, снять с детали защитную изоляцию	Верстак слесарный. Подвеска с деталью	-	Обеспечить исправность подвесного приспособления и защитных экранов
17	КОНТРОЛЬНАЯ протереть деталь насухо, проверить качество покрытия ТЭЖ на восстанавливаемой поверхности, определить толщину нанесенного слоя	Стол лабораторный. Ветошь обтирочная. Молоток с полукруглым бойком 200 г. Микрометр 0-25 мм	-	Покрытие должно быть гладким, темным, без блеска, питтинга, дендритов, вздутий и шелушений. При легком остуживании молотком на поверхности не должно быть вмятин, отслаивание и осыпание осадка при этом недопустимы

4.5. Роль подготовительных операций в структуре технологического процесса осталивания

Одним из важнейших эксплуатационных показателей, определяющих долговечность восстановленных деталей, является прочность сцепления покрытия ТЭЖ с металлом детали. В настоящее время нет количественного метода неразрушающего контроля прочности сцепления. По этой причине истинные количественные значения её не определяются и остаются неизвестными. Тем не менее она контролируется на двух этапах: на первом - непосредственно после нанесения покрытия путем визуального осмотра устанавливается "явный брак" (отслоение покрытия, вспучивание и т.п.); на втором - на стадии механической обработки шлифованием, где выявляется так называемый "скрытый брак" (отслоение покрытия в процессе обработки). Считают, что если покрытие при механической обработке не отслаивается, то прочность сцепления его с металлом детали достаточно высока и лежит в пределах 2 000...5 000 кгс/см² (200...500 МПа), характеризующих физическое сращивание.

Из всех операций технологического процесса наращивания ТЭЖ наиболее существенное влияние на прочность сцепления оказывают операции по подготовке изношенных поверхностей. К ним относятся: моечные, обезжиривания, анодного травления, анодной очистки, а также выдержка деталей в электролите осталивания без тока и разгон тока в начальный период осаждения ТЭЖ. Обеспечить абсолютно чистую поверхность, обеспечивающую физическое сращивание металлов, на реальных деталях в обычных производственных условиях за счёт этих подготовительных операций – задача сложная, а в ряде случаев и неразрешимая. Ввиду этого поиски условий, при которых осуществляется межмолекулярное взаимодействие покрытия с металлом детали, представляют собой важнейшую технологическую задачу.

Силы взаимодействия между узлами кристаллических решеток покрытия и основного металла проявляются, когда расстояние между ними по порядку величины близко к показателям самих решеток. Это может быть обеспечено только полной очисткой поверхностей детали к моменту начала электролиза от жировых пленок, пленок окислов, поверхностно-активных веществ и прочих загрязнений. Очистка восстанавливаемых поверхностей от жировых пленок производится при обезжиривании. Быстрота процесса и высокое качество очистки обес-

печиваются, как указано ранее, выполнением вначале химико-механического, затем электрохимического обезжиривания. Наличие визуального оценочного критерия (отсутствие разрывов водяной пленки) позволяет судить о качестве очистки в каждом конкретном случае и обуславливает необходимость повторения этих операций.

Операции анодного травления и анодной очистки предназначены для удаления с восстанавливаемых поверхностей дефектного, окисленного слоя металла (выявления структуры) и создания на них тонкой пассивной пленки. Анодное травление проводится в хлористом электролите. Процесс травления в нем не сопровождается образованием пассивной пленки, что дает возможность получать любой требуемый эффект травления. После этой операции на поверхности детали остается темный рыхлый слой травильного шлама. Возможность обеспечить глубокое травление поверхности особенно важна для деталей, изготовленных из легированных сталей и прошедших термическую обработку. Она позволяет удалять с их поверхностей не только окисные пленки, но и толстые дефектные слои. Последнее благоприятно сказывается на величине прочности сцепления. В ряде случаев эта особенность травления в хлористом электролите представляет возможность исключить из технологического процесса операцию предварительной механической обработки (при равномерном износе рабочих поверхностей). Продолжительность травления регламентируется от 6 до 10 мин и определяется составом, температурой хлористого электролита и структурными особенностями материала детали.

Анодная очистка выполняет более узкое назначение – удалить с поверхности детали слой травильного шлама и обеспечить образование на ней пассивной пленки. Операцию производят в 30 %-ном растворе серной кислоты, недостатком которого является его технологическая недолговечность. По мере накопления в растворе ионов хлора и железа повышается его коррозионная активность. При достаточно большой (критической) концентрации в растворе этих ионов становится невозможным выделение кислорода на аноде и явления пассивного состояния обрабатываемых поверхностей не наблюдается. Средства для устранения вредного влияния примесей железа и хлора неизвестны и на практике не применяются. Поэтому вопрос (в случаях получения неудовлетворительной прочности сцепления) решается заменой загрязненного электролита новым. Анодная очистка оказывает на прочность сцепления более значительное влияние, чем анодное

травление. Это обусловлено тем, что пассивность при обработке в 30 %-ном растворе серной кислоты – явление, сопутствующее характерным режимам анодного травления. Она исчезает с выключением поляризующего тока. При этом идёт процесс саморастворения стали и на её поверхности накапливается вторичный травильный шлам, тонкая пленка которого может стать причиной неудовлетворительного сцепления. Поэтому применяемый режим анодной очистки может быть оправдан только при наличии четких методических рекомендаций в каждом конкретном случае.

Согласно существующим представлениям цель операции "промывка в холодной воде" заключается исключительно в удалении с поверхности детали остатков кислых электролитов и других технологических растворов. Осуществляется операция, как правило, многократным (3 – 5 и более раз) погружением деталей в ванну с холодной проточной водой. Перемещение промываемых деталей относительно воды со скоростью 0,3...0,6 м/с вызывает турбулентное течение её вблизи промываемой поверхности, что ускоряет процесс диффузии электролитов и технологических растворов с поверхности деталей. При этом температура воды и продолжительность промывки строго не регламентируются.

Для промывки в основном используют воду из городского водопровода (питьевую). Состав её достаточно сложен и в значительной степени определяется составом воды в местах её поступления в водопроводную сеть. В воде могут присутствовать хлориды, сульфаты, железо, марганец, медь, цинк и т.д. Общая жесткость воды должна быть в пределах 7...10 мг·экв/л. Помимо этого водопроводная вода содержит в себе некоторое количество газов (O_2 и CO_2). Общее газо-содержание воды равно сумме растворенного и свободного газа, существующего в виде пузырьков.

Операцию "промывка в холодной воде" считают настолько исключительно полезной и безвредной, что не ограничивают продолжительность промывки. Отсутствие четких рекомендаций по длительности этой операции приводит к тому, что производственники относятся к ней по принципу: "Чем дольше, тем лучше". Это, во-первых, увеличивает продолжительность рабочего цикла, во-вторых, может привести к адсорбции растворенных в воде элементов на подготавливаемые поверхности, окислению их кислородом и, как следствие, получению неудовлетворительной прочности сцепления.

Значит, на операцию промывки холодной водой должно затрачиваться минимально возможное время, в течение которого при данных условиях обеспечивается хорошее качество промывки. Этого можно достичь, применяя многоступенчатую противоточную промывку комбинированным способом (многократное погружение в проточную воду и струйный способ).

С теоретических позиций цель операции "промывка в теплой воде" точно не определена. Считают, однако, что она служит для удаления остатков раствора серной кислоты и прогрева деталей для создания более благоприятного теплового режима на следующей стадии технологического процесса.

Вода используется при температуре 55...60 °С. Продолжительность операции выбирается только в зависимости от массы детали и рекомендуется в очень широком диапазоне: от 5 с для относительно небольших и до 5 мин для массивных деталей. Закономерность, увязывающая длительность операции с массой детали и температурой воды, а также строгая регламентация длительности операции отсутствуют. При выполнении операции необходимо иметь в виду, что чрезмерно длительная промывка в теплой воде может привести к получению неудовлетворительной прочности сцепления (по причинам, описанным выше).

Цель выдержки деталей в электролите оставления без тока сводится исключительно к активированию восстанавливаемых поверхностей. Это обусловлено существующим представлением о том, что на них после анодной очистки образуется пассивная пленка. Механизм активизирующего воздействия связывается с восстанавливающей способностью ионов хлора и водорода, находящихся в электролите. При этом роль температурного фактора с теоретических позиций не решена. Чтобы процесс активирования поверхности протекал правильно, температура поверхности металла детали и прилегающего к ней слоя электролита должна быть одинаковой или близкой к температуре электролита. Длительность операции связывается только с массой детали. Единые рекомендации при этом отсутствуют. Отмечается также, что чрезмерная длительная выдержка в электролите оставления без тока вызывает коррозию поверхности детали, образование на ней толстого окисного слоя и, как следствие, отслаивание покрытия ТЭЖ. Однако управлять этой операцией с точки зрения возможности назначения оптимальных для каждого случая временных режимов очень трудно из-за большого количества действующих факторов.

На основании теоретических представлений начальному периоду электроосаждения ТЭЖ отводится исключительно большое значение в обеспечении высокой прочности сцепления. Рекомендуется его начинать при малых плотностях тока ($3...5 \text{ А/дм}^2$), когда выделяется преимущественно водород или только водород. При этом водороду отводится роль восстановителя пассивной пленки, образовавшейся за время анодной обработки в 30 %-ном растворе серной кислоты, и растворимых продуктов коррозии, накопившихся на поверхности за время выполнения предшествующих подготовительных операций. Происходит увеличение электрохимической активности поверхности стальной детали. Кроме того, пониженная плотность тока в начальный период осаждения ТЭЖ необходима, чтобы обеспечить возникновение меньших внутренних напряжений в покрытии. Промежуток времени от начала образования первых центров кристаллизации до образования сплошного покрытия будет характеризовать формирование переходного слоя, являющегося связующим звеном между основным металлом и покрытием. Рекомендуемая длительность этого промежутка времени 10...15 мин.

4.6. Специальные способы осталивания

4.6.1. Осталивание шеек коленчатых валов

Одно из преимуществ наращивания на шейки коленчатого вала покрытий ТЭЖ перед наплавкой состоит в том, что при осталивании исключается возможность коробления вала и уменьшения его длины. Но осталивание коленчатых валов является сложной технологической задачей, обусловленной их конфигурацией, большими динамическими нагрузками, действующими на шейки при работе двигателя. Коленчатые валы имеют значительный вес и габариты, оси их шатунных шеек расположены в различных плоскостях. Все это предъявляет к процессу осталивания высокие требования по сцепляемости, износостойкости, усталости и равномерности покрытий ТЭЖ.

Опыт осталивания шеек коленчатых валов показал, что предварительное шлифование шеек перед наращиванием железа может проводиться, а может и не проводиться, но зачистка шеек шлифовальной шкуркой обязательна. Электрохимическая подготовка шеек может выполняться по первому или по второму варианту технологического процесса осталивания (в зависимости от материала коленчатого вала).

Сложная конфигурация коленчатых валов затрудняет изоляцию мест, не подлежащих покрытию (щеки, противовесы). Для защиты их от наращивания ТЭЖ применяют: смесь нитрокраски и лака, обертывание липкой пленкой или лентой ПВХ, специальные съемные чехлы из винипласта (эбонита, текстолита).

При вертикальном завешивании коленчатого вала в ванну оставления в процессе наращивания наблюдаются такие особенности:

- затруднительное удаление газообразного водорода (выделяющийся при электролизе водород скапливается на верхних галтелях шеек, экранирует их и металл там не осаждается);
- недостаточное поступление ионов Fe^{++} и H^+ в электролит, находящийся между щеками (при снижении содержания Fe^{++} твердость осадков ТЭЖ возрастает, малая же концентрация ионов H^+ вызывает защелачивание прикатодного слоя и получение слоистых покрытий);
- на шейках вала (особенно шатунных) наращиваются неравномерные осадки ТЭЖ (бочкообразной формы).

Для устранения этих особенностей коленчатый вал рекомендуется загружать в ванну оставления под углом (наклонно) или горизонтально, обязательно вращать его в процессе электролиза и применять кольцевые аноды. Но при вращении вала необходимо выдержать одинаковые катодно-анодные расстояния для всех шеек. Это возможно при помощи сложной кинематической системы. Конструкция подвесного приспособления усложняется.

Аноды при оставлении шеек коленчатых валов могут быть растворимые или нерастворимые. Растворимые помещают в чехлы из стеклоткани (для предотвращения загрязнения электролита шламом). Применение же нерастворимых (графитовых) анодов приводит к постепенному накоплению в электролите ионов Fe^{+++} и к получению слоистых осадков.

Более рациональным способом наращивания покрытий ТЭЖ на шейки коленчатых валов считается проточное оставление (см. п. 2.6.2). При этом на каждую шейку вала монтируется герметичная гальваническая ячейка. Наращивание ТЭЖ можно производить в сплошном потоке электролита и анодно-струйным способом (см. рис. 20). В этих случаях поверхности коленчатого вала, не подлежащие покрытию, не изолируются.

4.6.2. Осталивание гнезд подшипников

При износе отверстий под подшипники в корпусных деталях оси валов смещаются и перекашиваются, нормальная работа деталей (шестерен, валов, подшипников) нарушается. Применяемые в практике ремонтного производства способы восстановления таких поверхностей (гильзовка, наплавка, наращивание эпоксидных композиций и т.д.) имеют существенные недостатки и во многих случаях не обеспечивают требования технических условий в отношении деталей, теплопроводности посадочных поверхностей, взаимного расположения осей отверстий.

К числу наиболее удобных и доступных способов восстановления гнезд подшипников в корпусных деталях относят осталивание. Причем наращивание ТЭЖ в этом случае можно производить безваннным способом (см. рис. 17) или в проточном электролите (см. рис. 19).

Последний способ предпочтителен в силу высокой производительности и хорошего качества покрытий. Но для его реализации нужна специальная установка, включающая в себя: стол для установки корпусных деталей, ванну с электролитом анодного травления, ванну с электролитом осталивания, кислотостойкие насосы, арматуру управления, систему трубопроводов и шлангов, источник электрического питания, приборы контроля и регулирования. Трубопроводная система такой установки должна быть полностью закрытой. Если она открытая на сливе электролита из гальванических ячеек, то происходит сильное окисление электролита осталивания (в нем накапливаются ионы Fe^{+++} и качество покрытий снижается).

Перед наращиванием ТЭЖ рекомендуется производить предварительное растачивание отверстия под подшипник. При этом удаляются деформированные, насыщенные маслом слои металла и отверстию придается правильная геометрическая форма. Возможна предварительная обработка поверхностей шлифовальной шкуркой.

4.6.3. Осталивание на асимметричном токе

Необходимость проведения процесса осаждения ТЭЖ при температуре электролита 65...75 °С предъявляет высокие требования к материалу ванны и требует наличия мощной системы нагрева. Это усложняет конструкцию ванны осталивания. Причем хлористый электролит при этой температуре агрессивен (растворяет свинец). С его

испарением ухудшается стабильность процесса. Эти причины обуславливают повышенный интерес производителей к так называемому "холодному" осталиванию. Но с уменьшением температуры электролита приходится снижать катодную плотность. Причем до таких значений, при которых скорость осаждения железа становится незначительной (теряется главное преимущество осталивания). Чтобы интенсифицировать процесс наращивания ТЭЖ при комнатной температуре, было предложено использовать для питания ванны осталивания асимметричный ток (см. рис. 21, д).

При использовании этого тока на катоде чередуются электровосстановительные и электроокислительные процессы. Но поскольку плотность тока прямого направления D_k всегда больше плотности тока обратного направления D_a , формирование покрытия преобладает над растворением. В результате наращивается слой ТЭЖ.

Асимметричный ток характеризуется одинаковой длительностью прохождения токов прямого и обратного направления ($\tau_k = \tau_a$). Режим электрического питания в этом случае задается двумя величинами: D_k и D_a (см. п. 2.2). Они связаны между собой катодно-анодным показателем

$$\beta = D_k / D_a \quad (18)$$

Электролиз ведут в простом хлористом электролите с добавками хлористого марганца $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ или иодистого калия KI . После выдержки деталей без тока в электролите (30...60 с) включают рабочую катодную плотность тока (20...30 А/дм²), устанавливают начальное значение катодно-анодного показателя $\beta = 1,2...1,5$ и проводят осаждение железа в течение 1,5...2 мин. После этого постепенно увеличивают (за 8...10 мин) величину β . При $\beta = 6...10$ наращивают покрытие ТЭЖ необходимой толщины.

Применение асимметричного тока позволяет: повысить производительность процесса электролиза железа при температуре электролита 18...25 °С, обеспечить гарантированную сцепляемость покрытия с металлом детали, получать осадки ТЭЖ с работоспособной структурой.

4.6.4. Пористое осталивание

Микротрещины в осадках ТЭЖ, так же, как и в хроме, располагаются перпендикулярно поверхности детали (см. рис. 8). Их величина

на и густота изменяются в зависимости от значений технологических факторов. Наличие этих микротрещин позволяет получить пористую структуру путем специальной обработки.

Сущность этой обработки состоит в электролитическом травлении покрытия ТЭЖ для углубления и расширения микротрещин, выходящих на поверхность. Травление производят в 30 %-ном растворе H_2SO_4 после механической обработки восстанавливаемых поверхностей. Травят 4...6 мин при $D_a = 25...35 \text{ А/дм}^2$ и $t = 18...25 \text{ }^\circ\text{C}$. Для выполнения анодного травления в технологический процесс включают дополнительные операции: монтаж на подвески, анодное травление, промывка холодной водой, нейтрализация, демонтаж с подвесок, доводка восстанавливаемых поверхностей и промывка их керосином. При механической обработке на анодное травление и доводку оставляют соответствующий припуск.

В качестве доводочной операции применяют: анодно-механическое шлифование, хонингование, обработку притирами с пастой ГОИ. Удаление абразивных частиц, попавших в расширенные микротрещины (поры), при доводке производят промывкой деталей струей керосина под давлением 6 кгс/см^2 (0,6 МПа). Эксплуатационные испытания показали, что пористое покрытие ТЭЖ имеет хорошую смачиваемость маслами (возрастает их маслоёмкость), высокую работоспособность в условиях недостаточной подачи масла и выдерживает значительные удельные давления. Для лучшего использования их преимуществ производят пропитку деталей моторным маслом (1,0–1,5 ч при $t=100\text{--}120 \text{ }^\circ\text{C}$).

4.6.5. Осталивание с последующим хромированием

В конструкции современных автомобилей имеются детали с высокими значениями поверхностной твердости (HRC 56...62). Для них твердое осталивание не обеспечивает требуемой работоспособности. Восстанавливать изношенные поверхности таких деталей рекомендуется осталиванием с последующим хромированием (микротвердость электролитического хрома выше, чем ТЭЖ). При этом вначале наращивают толстый слой железа, а затем тонкий слой хрома. Хромовое покрытие несет основную нагрузку от трения, а железо выполняет роль подслоя. Исследования показали, что продавливания слоя хрома под нагрузкой, возникновения пластических деформаций в слое железа не происходит.

Технологический процесс в этом случае включает в себя полный цикл операций твердого осталивания и хромирования. Способ рекомендуется также применять для восстановления деталей с большими износами (толщина слоя ТЭЖ больше толщины слоя хрома). С большой эффективностью этот способ может быть использован для восстановления гильз цилиндров, шеек распределительных и коленчатых валов, разжимных кулаков и т.д.

4.6.6. Осталивание деталей из алюминиевых сплавов

Наращивание ТЭЖ на алюминий является достаточно сложной технологической задачей в отношении получения прочного сцепления покрытий с деталями. Эта сложность обусловлена двумя причинами. Наличием на поверхности алюминия и его сплавов прочной, тугоплавкой и легко восстанавливающейся окисной пленки (алюминий имеет большое сродство к кислороду). Другой важной причиной является высокое отрицательное значение потенциала алюминия (см. табл. 1) и его стремление к переходу в ионное состояние. Это вызывает контактное вытеснение железа из электролита, а контактные осадки железа не имеют необходимого сцепления. В практике наращивания покрытий ТЭЖ на алюминиевые детали применяются два способа подготовка поверхностей, позволяющие получить хорошее сцепление.

По первому из них после механической обработки и обезжиривания сначала производят анодную обработку в хлористом электролите ($200 \text{ г/л FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} + 1\text{ г/л HCl}$) при $D_a = 30 \text{ А/дм}^2$ в течение 1 мин. Затем детали промывают холодной водой и делают анодную очистку в 48 %-ном растворе фосфорной кислоты H_3PO_4 при $D_a = 80 \dots 120 \text{ А/дм}^2$ в течение 2...3 мин. После промывки водой детали завешивают в ванну осталивания под током ($D_k = 5 \text{ А/дм}^2$), производят "разгон тока" и наращивание необходимого слоя ТЭЖ при $D_k = 20 \dots 30 \text{ А/дм}^2$. В процессе анодной обработки в горячем хлористом электролите происходит интенсивное растворение естественной пленки окислов и на поверхности деталей образуется серый налет. При анодной очистке выделяющиеся на поверхности пузырьки кислорода очищают её от продуктов травления и вызывают пассивацию. Наступление её сопровождается самопроизвольным понижением силы тока (повышается сопротивление цепи). Поверхность приобретает молочный цвет

без заметного блеска. Разрушение пассивной пленки (активация) происходит в начальный момент электроосаждения железа.

Второй способ подготовки поверхностей заключается в химическом травлении в разбавленной соляной кислоте (плотностью 1,08...1,09), промывке водой и анодной очистке в 30 %-ном растворе H_2SO_4 . При химическом травлении окисная пленка на алюминии разрушается. Продукты травления (шлам) удаляются анодной очисткой в течение 2,5...3,0 мин ($D_a=100...120$ А/дм²). В ванну осталивания детали завешиваются также под током.

4.7. Анализ надежности осталивания по параметру "прочность сцепления"

Анализ фактической надёжности любого существующего технологического процесса, как правило, производится путем длительных наблюдений в производственных условиях с последующей математической обработкой полученных результатов. Такая схема анализа технологической надёжности процесса осталивания по рассматриваемому параметру неприемлема ввиду отсутствия неразрушающего метода контроля величины прочности сцепления покрытия ТЭЖ с металлом детали. Это вызывает необходимость рассмотрения всего технологического процесса восстановления деталей, включая основные и вспомогательные операции.

Все операции надо рассматривать не изолированно, а во взаимосвязи, так как в конечном счёте величина прочности сцепления ТЭЖ формируется под действием всего комплекса выполняемых операций. При этом необходимо учитывать взаимосвязь и взаимозависимость параметров, создаваемых на предшествующих и последующих операциях. Такая зависимость в общем виде называется технологической наследственностью. Как известно, явление технологической наследственности наблюдается в любом технологическом процессе и оказывает существенную роль в формировании конечных показателей качества.

Исследование же технологического процесса с учетом явления технологической наследственности – весьма сложная задача. Связано это с тем, что технологический процесс состоит из n операций и для его описания необходимо исследовать не только n операций, но также и $n(n - 1)$ связей между ними. Если учесть, что технологический процесс находится в динамическом режиме (переходит из одного состоя-

ния в другое), то решение поставленной задачи становится ещё более сложным. Поэтому в основу методики анализа надёжности технологического процесса осталивания по параметру "прочность сцепления" положен структурный анализ, который является основой начального этапа исследования надёжности.

Общая задача структурного анализа заключается в определении количества элементов технологического процесса осталивания, определяющих его надёжность по рассматриваемому параметру, установлению характера их взаимосвязи с точки зрения наследования того или иного конечного показателя качества. Такой подход позволяет выявить узкие места в структуре технологического процесса и научно обосновать выбор наиболее эффективных путей повышения надёжности за счёт структурного совершенствования технологического процесса осталивания.

Рассматривая технологический процесс наращивания ТЭЖ на изношенные поверхности деталей с точки зрения количества операций, определяющих прочность сцепления, и их функциональной связи, нетрудно заметить (см. табл. 5), что он содержит 8 операций, оказывающих влияние на прочность сцепления (операции 1, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 12). Эти операции связаны в функциональном отношении последовательно в том смысле, что качество выполнения каждой последующей операции зависит от качества выполнения предыдущей.

Получение же достаточной прочности сцепления $\sigma_{ци}$ обеспечивается, если на каждой из этих последовательных операций выполняется условие

$$\delta_{ni} \leq \sigma_{ци} \leq \delta_{vi}, \quad (19)$$

где δ_{ni} – нижняя граница допуска на прочность сцепления, обеспечиваемая на i -й операции; δ_{vi} – верхняя граница допуска на прочность сцепления, обеспечиваемая на i -й операции; $\sigma_{ци}$ – величина прочности сцепления, обеспечиваемая выполнением i -й операции при данных условиях.

Вероятность получения прочности сцепления, удовлетворяющей требованиям надёжности, будет равна

$$P \{ \delta_n \leq \sigma_{ци} \leq \delta_v \} = P(t), \quad (20)$$

где $\sigma_{ци}$ – нормируемое значение прочности сцепления; δ_n , δ_v – нижняя и верхняя границы допуска на прочность сцепления.

Пусть определены вероятности выполнения неравенства (19), т. е.

операций (при допущении, что уровень надёжности выполнения этих операций достаточно высок).

В действительности же истинные значения $P_i(t)$ будут значительно меньше допущенных, что приведёт к возрастанию процента брака по прочности сцепления. Это обусловлено тем, что условная вероятность качественного выполнения i -й операции может быть выражена как произведение вероятностей:

$$P_i(t) = P_{ni}(t) \cdot P_{вни}(t), \quad (25)$$

где $P_{ni}(t)$ – вероятность безотказного выполнения i -й операции при постепенных отказах; $P_{вни}(t)$ – вероятность безотказного выполнений i -й операции при внезапных отказах.

Уровень же технологической надёжности операции определяется в первую очередь отсутствием постепенных отказов. Под ними следует понимать такие отказы, которые появляются в результате неизбежного постепенного ухудшения первоначальных функциональных свойств отдельных элементов операции.

Рассматривая же надёжность каждой операции с точки зрения возможности возникновения в ней постепенных отказов, следует отметить, что наиболее слабым звеном в технологическом процессе является операция анодной очистки в 30 %-ном растворе серной кислоты.

Вероятность безотказного (качественного) выполнения её можно представить как функцию следующих величин:

$$P_{10}(t) = f \left[\int_0^{c1} dC_{cl}; \int_0^{c2} dC_{Fe}; D_a; \tau; t_3; \int_0^{c3} dC_{32} \right], \quad (26)$$

где D_a – анодная плотность тока; τ – время обработки; t_3 – температура электролита; dC_{cl} – градиент, характеризующий накопление в электролите ионов хлора; dC_{Fe} – градиент, характеризующий накопление в электролите соли двухвалентного железа; dC_{32} – градиент, характеризующий накопление в электролите различных загрязнений.

Такие параметры, как анодная плотность тока, время обработки, температура электролита, безусловно, влияют на качественное выполнение анодной очистки. Однако постоянство поддержания их оптимального значения легко может быть осуществлено с помощью существующих средств автоматизации и контроля. Накопление же в электролите анодной очистки ионов хлора, соли двухвалентного же-

леза и различных загрязнений неизбежно приводит к появлению постепенных отказов при выполнении этой операции. Постоянный контроль и удаление их из электролита представляют собой значительные трудности. По этой причине в производственных условиях 30 %-ный раствор серной кислоты заменяют 2...6 раз в году.

Сложная функциональная зависимость $P_i(t)$ от технологических факторов каждой операции, отсутствие методики, позволяющей определять количественные значения прочности сцепления покрытий ТЭЖ с металлом детали без разрушающего контроля, приводят к тому, что в настоящее время нет полной ясности в отношении безотказного выполнения любой операции и надёжности технологического процесса осталивания в целом по параметру "прочность сцепления".

В структуре технологического процесса осталивания имеются также и такие операции (промывка и охлаждение деталей перед анодной очисткой, прогрев их после неё, перенос в ванну осталивания и выдержка без тока), стабильность протекания которых трудно обеспечить из-за невозможности учесть влияние массы и качественного состава металла обрабатываемой детали.

Таким образом, проведенный анализ позволил установить структурное несовершенство технологического процесса осталивания, которое проявляется в наличии:

- значительного количества вспомогательных подготовительных операций, которые, увеличивая цепочку последовательно связанных в функциональном отношении элементов, вызывают уменьшение технологической надёжности всего процесса по прочности сцепления;
- операций, функциональные свойства отдельных элементов которых неизбежно ухудшаются с течением времени;
- операций, стабильность протекания которых трудно обеспечить из-за невозможности учесть влияние массы и качественного состава металла детали.

Поскольку уменьшить количество вспомогательных операций не представляется возможным, указанные несовершенства технологии наращивания ТЭЖ могут быть устранены тщательным качественным выполнением каждой операции, своевременной заменой технологических растворов. Это снизит вероятность появления постепенных отказов и увеличит технологическую надёжность процесса осталивания по параметру "прочность сцепления".

Контрольные вопросы

1. Расскажите о свойствах ТЭЖ и технико-экономических показателях осталивания.
2. Какие детали автомобилей возможно восстанавливать наращиванием покрытий ТЭЖ?
3. Напишите состав хлористого электролита осталивания и параметры процесса электролиза. Какие при этом применяются аноды?
4. Какова сущность и цель электрохимической подготовки восстанавливаемых поверхностей?
5. Характеризуйте варианты электрохимической подготовки при осталивании.
6. Перечислите операции технологического процесса наращивания твердого электролитического железа.
7. Расскажите о роли подготовительных операций в технологии осталивания.
8. С какой целью производится выдержка деталей в электролите без тока и "разгон" тока?
9. Расскажите об особенностях осталивания шеек коленчатых валов.
10. Как производится осталивание гнезд подшипников корпусных деталей?
11. Расскажите о применении асимметричного тока при наращивании ТЭЖ.
12. В чем заключается преимущество пористых покрытий ТЭЖ и как их получают?
13. Для каких целей используется осталивание с последующим хромированием?
14. Особенности осталивания деталей из алюминиевых сплавов.
15. Расскажите о сущности оценки технологии осталивания по параметру "прочность сцепления".

Глава 5. ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫЕ ПОКРЫТИЯ

5.1. Понятие о защитно-декоративных покрытиях и их применение

Современные автомобили имеют большое количество деталей с гальваническими покрытиями защитно-декоративного назначения. Они применяются для декоративной отделки (длительного сохранения красивой, блестящей, разноцветной поверхности деталей), придания легковым автомобилям и автобусам привлекательного внешнего вида с одновременной защитой металла деталей от коррозии. Чем выше комфортабельность автомобиля, тем больше в нем имеется деталей с защитно-декоративными покрытиями.

В ремонтной практике наибольшее распространение получили защитно-декоративные покрытия никеля и хрома. По отношению к стали они являются катодными покрытиями (см. п. 1.7). В некоторых случаях в соответствии с современными эстетическими взглядами блестящие хромовые и никелевые покрытия с успехом заменяют текстурированными цинковыми или тонированными никелевыми, медными покрытиями.

В настоящее время блестящему защитно-декоративному хромированию и никелированию подвергаются: облицовка радиатора, ручки дверей (поворотных форточек, стеклоподъемников), передний и задний бампер (или его части), ободки фар и указателей поворотов, молдинги дверей, поручни и тамбурные стойки, колпаки колес, кнопки, планки и другие детали легковых автомобилей и автобусов.

5.2. Защитные и декоративные свойства хрома и никеля

Электролитический хром имеет высокую коррозионную стойкость в атмосферных условиях, путем полирования ему можно придать привлекательный декоративный вид. Зеркальная отражательная способность его стабильна во времени и не исчезает даже при нагреве до 400–500 °С. Органические кислоты, смолы, сероводород, разбавленная серная кислота, азотная кислота и щелочи на хром не действуют. Эти свойства обуславливают широкое применение хромовых покрытий в защитно-декоративных целях. Для этого используют молочные и блестящие хромовые покрытия (см. п. 3.1). В атмосферных условиях на поверхности хромового осадка образуется прозрачная

пассивная пленка, предохраняющая его от коррозии и сохраняющая его блеск. В последнее время инженерно-социологическими исследованиями доказано, что кроме блестящих хромовых покрытий в отделке легковых автомобилей и автобусов должны найти применение черные, синие, темно-синие, фиолетовые, зеленые, красные хромовые покрытия.

Электролитический никель – металл серебристо-белого цвета. Плотность его $8,9 \text{ г/см}^3$, температура плавления $1450 \text{ }^\circ\text{C}$, микротвердость, в зависимости от значений технологических факторов, лежит в пределах $200 \dots 700 \text{ кгс/мм}^2$ (см. табл. 2). Никель химически стоек против атмосферного воздуха, щелочей и органических кислот. В H_2SO_4 и HCl он растворяется медленно, в H_3PO_4 – быстро. Никелевые покрытия хорошо полируются до зеркального блеска и приобретают красивый внешний вид. При введении в электролит специальных добавок (блескообразователей) получают блестящие покрытия никеля без полировки.

5.3. Типы защитно-декоративных покрытий

Твердые осадки никеля и хрома имеют большую пористость и сетку микротрещин (см. п. 2.3). Поэтому они не защищают металл детали от химического и электрохимического воздействия внешней среды. В связи с этим для защиты черных металлов от коррозии никелированием и хромированием обычно применяют многослойные защитно-декоративные покрытия. Так, при декоративном никелировании осаждают двух-, трехслойные покрытия: $\text{Cu}+\text{Ni}$; $\text{Ni}+\text{Cu}+\text{Ni}$ (рис. 24, *а*). А при защитно-декоративном хромировании наращивают трех-, четырехслойный осадок: $\text{Cu}+\text{Ni}+\text{Cr}$; $\text{Ni}+\text{Cu}+\text{Ni}+\text{Cr}$.

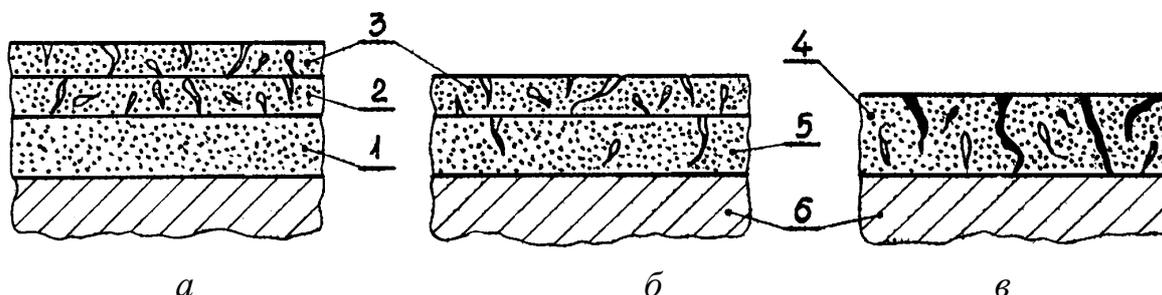


Рис. 24. Схема структуры защитно-декоративных покрытий: *а* – трехслойного; *б* – двухслойного; *в* – однослойного; 1–подслой беспористой меди; 2–подслой никеля; 3–слой блестящего хрома; 4–осадок блестящего хрома, пропитанный жидкостью ГЖ–94; 5–слой молочного хрома; 6–металл детали

В этих случаях слой беспористой (мягкой) электролитической меди хорошо защищает металл детали от физико-химического взаимодействия с окружающей средой. Слои же никеля и хрома (благодаря их высокой твердости) обеспечивают механическую защиту поверхности детали от воздействия внешних нагрузок (абразивных, ударных и т.п.). Толщина слоев, наносимых при многослойных защитно-декоративных покрытиях, определяется условиями работы деталей в эксплуатации и конструктивно-технологической документацией.

В последнее время получило распространение комбинированное двухслойное (без подслоя меди и никеля) защитно-декоративное хромирование Cr+Cr (рис. 24, б). Вначале осаждают слой молочного хрома, который обладает малой пористостью и способен предохранять металл детали от воздействия окружающей среды. Затем, не вынимая деталь из ванны хромирования, наращивают слой блестящего хрома, хорошо защищающий предыдущий слой от механических воздействий.

Находят также применение более экономичные однослойные защитно-декоративные покрытия хрома из тетрахроматных электролитов толщиной 30–50 мкм (рис. 24, в), защитную способность которых повышают путем заполнения (пропитки) пор и трещин различными составами с пассивирующими или гидрофобными свойствами (льняным маслом, клеем БФ-2, жидкостью ГКЖ-94 и т.п.).

5.4. Особенности технологии наращивания защитно-декоративных покрытий

Особенности технологии наращивания защитно-декоративных покрытий обусловлены необходимостью получения гладкой, ровной, блестящей поверхности детали с зеркальной отражательной способностью. Это обеспечивается условиями электроосаждения металлов, тщательностью предварительной и окончательной обработки.

При подготовке деталей необходимо обеспечить, чтобы на защищаемых поверхностях не было не только следов коррозии, но даже риск, мелких царапин и раковин. Данные дефекты не сглаживаются в процессе наращивания слоев электролитического покрытия, а становятся более рельефными и могут привести к деформации осадка (вздутия, дендриты, разрывы). Детали же из тонколистового материала

ла не должны иметь вмятин, изгибов, острых углов и кромок, закапанной окалины и расслоений металла.

В связи с этим защищаемые поверхности перед наращиванием хрома и никеля подвергаются слесарной обработке, шлифованию и полированию. Слесарная обработка заключается в закруглении острых кромок, позволяющем избежать образования дендритов, зачистке поверхностей шлифовальной шкуркой или стальной щеткой, выправлении вмятин и восстановлении геометрической формы детали. Шлифование защищаемых поверхностей производится по необходимости (при наличии коррозионных раковин, глубоких рисок и царапин, окалины) на специальных шлифовально-полировальных станках. Наиболее универсальным инструментом при этом являются эластичные круги (из войлока, сукна, кожи), на рабочую поверхность которых клеевым составом (столярный, казеиновый клеи, жидкое стекло) закреплен абразив (микropорошок). Процесс шлифования ведут в несколько переходов. Начинают кругами с более крупным абразивом (зернистостью 60 – 40) и заканчивают кругами с мелким абразивом (зернистостью 3 – 5). Обработку необходимо проводить, меняя направление шлифования после каждой смены инструмента. В одном направлении обработка проводится до тех пор, пока не исчезнут следы предшествующего шлифования. Режим шлифования должен обеспечить получение 8 – 10 класса шероховатости и определяется частотой вращения круга (1 400 – 2 800 об/мин для стали и хрома) и его давлением на поверхность детали (прил. 4). При незначительном объеме работ шлифование может быть проведено вручную шлифовальными шкурками с зернистостью абразива от 50 до МЗ. На деталях с остатками старого многослойного покрытия необходимо полностью удалить видимый слой электролитической меди.

После того, как шлифованием сглажены коррозионные раковины, глубокие риски и царапины, удалены окалина и остатки медного покрытия, проводят так называемую засалку поверхности (обработку кругом, слегка смазанным парафином, техническим салом или специальными засалочными пастами). Последний этап подготовки – полирование (механическое, химическое, электрохимическое). В ремонтном производстве получило распространение механическое полирование эластичными кругами (из войлока, фетра, сшитых из кусков хлопчатобумажного полотна или мягких тканей) или абразивными бесконечными лентами, на рабочую поверхность которых наносят слой полировочной пасты. Состав паст, исходя из их назначения, раз-

нообразен и включает в себя 60 – 70 % абразивного порошка, 28 – 38 % жировой связки и 2 % специальных добавок, активизирующих процесс полирования (прил. 5). В качестве абразива применяются микропорошки М6З-МЗ, окись хрома, железа, алюминия и т.д. Процесс полирования осуществляется в несколько переходов. Предварительной обработкой удаляют следы, оставшиеся от предшествующей операции механического шлифования. Для этого используют жирные пасты с относительно более грубым абразивом. Обработку ведут жесткими матерчатými кругами при повышенной частоте вращения.

После шлифования и полирования с деталей удаляют жировые загрязнения (обезжиривают). Обезжиривание в этих случаях проводят в растворах щелочей или органическими растворителями (дихлорэтан, бензин).

После наращивания защитно-декоративных покрытий восстанавливаемую поверхность полируют и гляncуют. Полирование производят эластичными кругами из войлока, фетра, хлопчатобумажных мягких тканей с применением полировочных паст. Хлопчатобумажные круги (из бязи, сукна, фланели, байки, миткаля и пр.) собирают из нескольких слоев ткани и прошивают. Существуют различные виды их прошивок (рис. 25). Процесс полирования в этом случае осуществляют аналогично полированию при подготовке деталей к наращиванию покрытия на том же станочном оборудовании с использованием указанных выше полировочных паст. Чаще всего применяют пасты ГОИ на основе окиси хрома, обладающие хорошими полирующими свойствами (прил. 6). Процесс полирования осуществляется при этом в несколько переходов при окружной скорости эластичного круга 26–35 м/с. Последовательно меняя полировальные круги (от более жестких к мягким) и переходя от грубой пасты ГОИ к тонкой, добиваются 10 – 13 класса шероховатости поверхностей. При смазывании полировочного круга пастой следует избегать ее избытка, так как это приводит к засаливанию поверхности детали. С другой стороны, недостаточное количество пасты на круге ухудшает качество полирования. Правильное нанесение пасты на полировочный круг, так же как оптимальное усилие прижима поверхности обрабатываемой детали к кругу, существенно сказывается на качестве полирования. Глянцеванием (чистовым полированием) добиваются получения зеркального блеска поверхности покрытия, придания деталям красивого внешнего вида, для чего используют мягкие круги (из фланели, байки, бязи и др.) при небольшой частоте вращения и сухие пасты с тонким абрази-

вом. При этом следует избегать сильного давления круга на деталь, так как это может привести к местному перегреву металла и образованию пятен, прижогов.

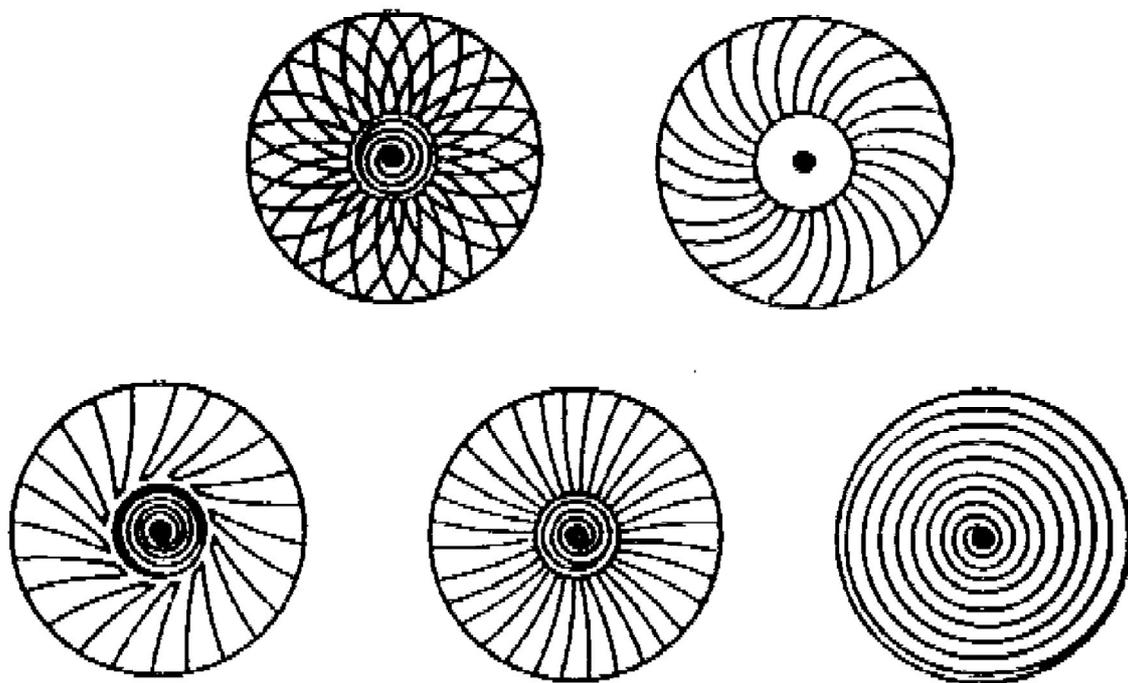


Рис. 25. Основные виды прошивок полировальных кругов

В общем случае операцию механического полирования поверхностей, подвергнутых защитно-декоративному покрытию, необходимо проводить по режимам, обеспечивающим потерю толщины покрытия не более 10–15 % в зависимости от конфигурации детали и твердости наращенного осадка хрома (никеля).

Контроль качества отполированных покрытий производится визуально. Покрытие должно быть однотонно блестящим (или серебристым с голубоватом оттенком), без рисок, мелких царапин и раковин, с зеркальной отражательной способностью. Признаки некачественного сцепления его с металлом детали должны отсутствовать. Степень чистоты и блеска осадков может быть определена также специальными приборами (блескомерами, фотометрами, рефлектometрами).

На полированной поверхности (кроме зеркальной) допускаются единичные царапины или точки от полировальных паст или инструмента в количестве не более 5 на 100 см². Не допускаются недополированные места и переполитрованные участки (места со снятым покрытием до основного металла), кроме мест, специально оговоренных в технической документации.

5.5. Технология двухслойного защитно-декоративного хромирования

Составы электролитов для защитно-декоративного хромирования весьма разнообразны. При одно-, двухслойном хромировании, как правило, применяют тетрахроматные электролиты, которые позволяют получать покрытия с высокой пластичностью, меньшей сеткой трещин и незначительной пористостью. Благодаря этим свойствам они способны без подслоя меди и никеля защищать металл от коррозии и механических воздействий.

На практике широко используется саморегулирующийся тетрахроматный электролит, содержащий 250 – 300 г/л хромового ангидрида CrO_3 , 40 – 60 г/л углекислого кальция CaCO_3 и 5 – 15 г/л сернокислого кальция CaSO_4 . Осаждение хрома производится при $t = 18\text{--}25\text{ }^\circ\text{C}$ и катодной плотности тока 10 – 50 А/дм². Процесс идет со скоростью наращивания осадка 15 – 25 мкм/ч. Защищаемые детали являются при этом катодами. Аноды применяют нерастворимые, преимущественно из свинца С1...С3. Необходимая концентрация электролита обеспечивается периодической добавкой в него соответствующих компонентов.

Этот электролит стабилен в работе и позволяет получать практически беспористые с высокой коррозионной стойкостью осадки хрома, наносимые без подслоя меди и никеля (хромирование непосредственно по стали или по старому хрому). Оптимальная толщина слоя, обеспечивающая минимальную пористость, составляет 18–20 мкм. Молочно-серые (или серебристо-серые) осадки из этого электролита мелкозернистые, вязкие, имеют хорошее сцепление с деталью (при изгибе стальной пластины на 180° осадок хрома не отслаивается и при изломе пластины разламывается вместе с ней). Микротвердость получаемых покрытий 2 000 – 6 000 МПа (200 – 600 кгс/мм²), они легко полируются до зеркального блеска. Последовательность выполнения операций технологического процесса хромирования в тетрахроматном электролите изображена на рис. 26.

После завешивания в ванну хромирования в течение 30–60 с проводят анодное декапирование при $D_a = 25\text{--}60\text{ А/дм}^2$ (для стальных деталей). Затем переключателем меняют направление тока и наращивают слой молочного хрома толщиной 15 – 25 мкм при $D_K = 10\text{--}20\text{ А/дм}^2$. После этого увеличивают катодную плотность тока до 30 – 50 А/дм² и осаждают слой блестящего хрома $\delta = 5\text{--}10\text{ мкм}$.

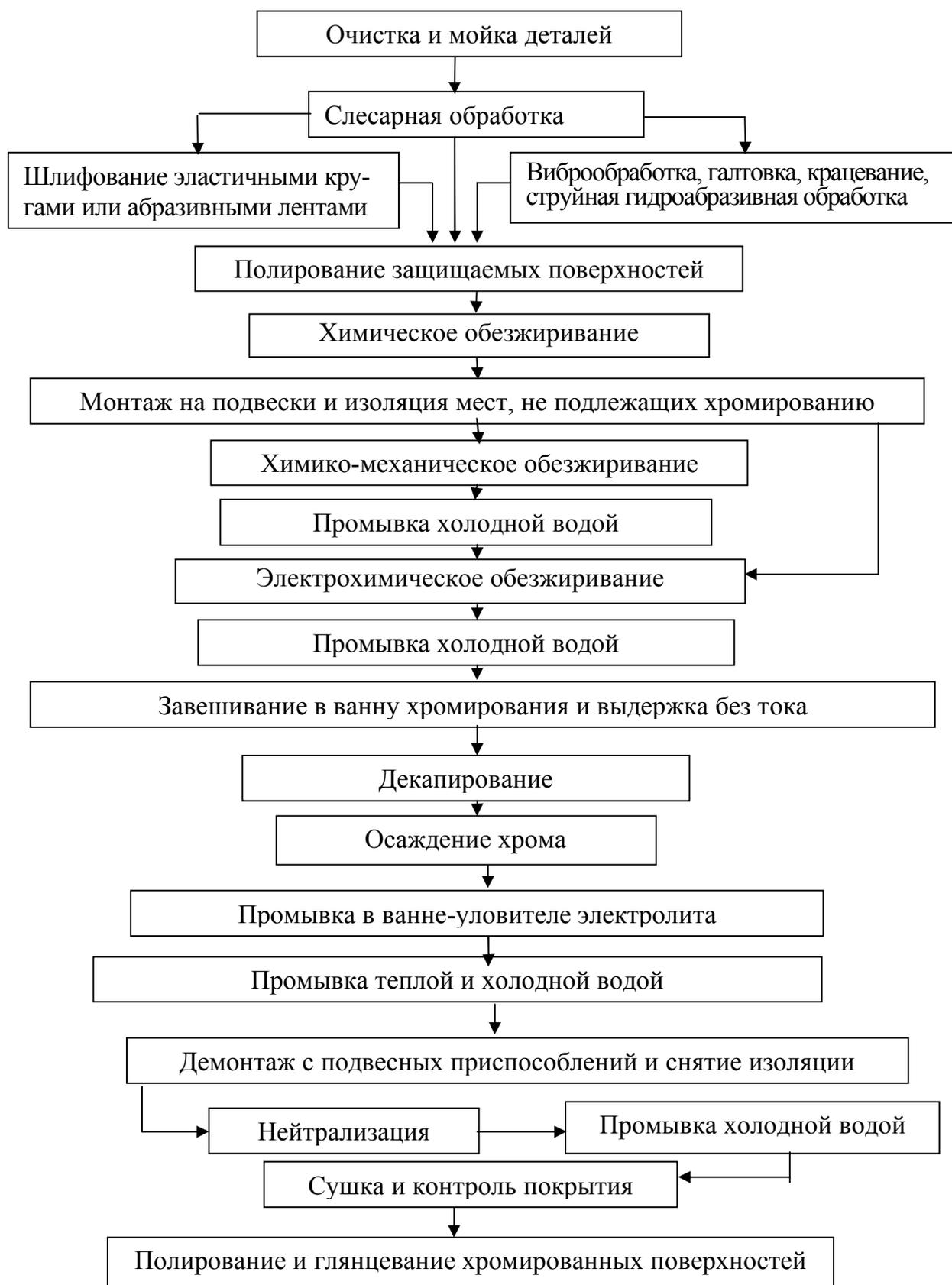


Рис. 26. Схема технологического процесса защитно-декоративного двухслойного хромирования стальных, чугунных деталей и деталей с остатками старого покрытия никелем или хромом

Длительность процесса на каждом режиме рассчитывают, исходя из необходимой толщины покрытия. При осаждении хрома на старый хромовый слой анодное декапирование производится в течение 20 – 40 с при плотности тока 25 – 30 А/дм².

Контроль качества защитно-декоративных хромовых покрытий в производственных условиях включает в себя внешний осмотр нарощенных поверхностей (визуально), определение твердости покрытия (набором эталонных напильников), проверку прочности сцепления (методом изгиба контрольной пластины, нанесением сетки царапин), замер толщины осадка и определение его пористости.

Качественное покрытие хрома должно быть светло-серого (блестящего) цвета с синеватым или молочно-матовым оттенком, гладким, без дендритов, вздутий, шишковатости и каких-либо внешних признаков отслаивания. Определение толщины защитно-декоративного осадка хрома рекомендуется производить приборами, основанными на магнитном, электромагнитном методах контроля или методе вихревых токов.

Часто на практике для защитно-декоративной отделки деталей применяют черные хромовые покрытия. Они имеют высокую коррозионную стойкость и обладают низким коэффициентом отражения света. Покрытия черным хромом по сравнению с другими покрытиями черного цвета (черным никелем, оксидными и фосфатными пленками) отличаются хорошей защитной способностью и теплостойкостью. Но для работы в условиях трения они не пригодны.

При контроле пористости защитно-декоративных хромовых покрытий, нарощенных на стальные детали, применяют раствор, содержащий 40 г/л железосинеродистого калия $K_3Fe(CN)_6$ и 15 г/л хлористого натрия NaCl. Фильтровальную бумагу, смоченную этим раствором, накладывают на чистую высушенную поверхность покрытия так, чтобы между ними не оставалось пузырьков воздуха и выдерживают 3 – 5 мин. При этом в местах пор появляются окрашенные в синий цвет точки, число которых подсчитывается. Допускается не более трех сквозных пор на 1 см² площади покрытия. Контроль качества покрытия хрома после полирования и глянцеваания см. п.5.4.

Подробное содержание операций технологического процесса двухслойного защитно-декоративного хромирования из саморегулирующегося тетрахроматного электролита, требования к их выполнению приведены в табл. 6.

Таблица 6

Технологический процесс двухслойного защитно-декоративного хромирования стальных деталей

№ опер	Наименование и содержание операции	Применяемое оборудование и инструмент	Раствор и рабочий режим	Особые указания
1	2	3	4	5
1	ОЧИСТКИ очистить деталь от коррозии, окалины, старой краски, смолистых отложений, протереть ветошью СЛЕСАРНАЯ выровнять вмятины, изгибы (деталей из тонколистового материала) удалить заусенцы, скруглить острые кромки и углы, протереть деталь ветошью	Верстак слесарный. Шабер плоский (трехгранный). Ветошь обтирочная. Щетка стальная	—	На детали не должно быть коррозии, окалины, старой краски, смолистых отложений
2	выровнять вмятины, изгибы (деталей из тонколистового материала) удалить заусенцы, скруглить острые кромки и углы, протереть деталь ветошью	Верстак слесарный. Напильник плоский 150-1. Молоток с медным бойком 200 г. Плита для правки 250x200 мм. Ветошь обтирочная	—	Наличие на детали вмятин, заусенцев, острых кромок и углов недопустимо (скруглить радиусом не менее 0,3 мм)
3	ШЛИФОВАЛЬНАЯ (ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ) на поверхности, подлежащей хромированию, зачистить шлифовальной шкуркой места коррозии, окалины, шлифовать до удаления царапин, раковин, окалины, протереть ветошью	Верстак слесарный. Шкурка шлифовальная № 50-М3. Ветошь обтирочная	—	Операцию выполнить в несколько переходов. Уменьшая зернистость шлифовальной шкурки, добиться полного удаления царапин, раковин, пор и других видимых дефектов
4	ПОЛИРОВАЛЬНАЯ поверхность, подлежащую хромированию, полировать в несколько переходов, каждый раз меняя направление обработки, протереть деталь ветошью	Одношпиндельный, полировальный станок. Круг войлочный. Паста ГОИ. Ветошь обтирочная	Частота вращения круга 1530 мин ⁻¹ . Давление круга на поверхности детали 0,05–0,2 МПа	Поверхность должна быть однородной, блестящей. Допускаются мелкие царапины или точки (не более 3 на 50 см ²), неоднотонность блеска

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5
5	ОБЕЗЖИРИВАНИЯ промыть деталь в бензине, протереть ве- тошью	Емкость с бензином. Ве- тошь обтирочная. Кисть волосая	Бензин незтили- рованный Б-70, Бр-1, А-80	Видимые загрязнения и ос- тапки полировальной пасты на детали недопустимы
6	ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕ- СКИХ РАСЧЕТОВ замерить размеры хромируемой поверх- ности и определить ее площадь, рассчи- тать загрузку по току ванн электрохими- ческого обезжиривания и хромирования, вычислить продолжительность осажде- ния хрома на каждом режиме (исходя из заданной толщины слоев)	Стол лабораторный. Линейка измерительная 150 мм	-	См. п. 2.4. Загрузку ванны декоратив- ного хромирования опреде- лять с учетом выполнения анодного декапирования и хромирования на двух ре- жимах. Величины D , D_a , D_k см. операции 9, 12
7	МОНТАЖНАЯ изолировать места, не подлежащие хромированию закрепить деталь в под- весном приспособлении, обеспечить между ними гарантированный контакт	Верстак слесарный. Под- весное приспособление (подвеска). Кисть волоса- ная	Цапонлак. Лен- та ПХВ. За- щитные экраны	Изоляцию проводить одним из способов: цапонлаком, липкой полиэтиленовой или полихлорвиниловой лен- той, защитными экранами (кожухами)
8	ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗЖИ- РИВАНИЯ протереть поверхность, подлежащую хромированию, обезжиривающей сме- сью, промыть струей холодной воды	Ванна химического обез- жиривания. Подвеска с деталью. Кисть волоса- ная. Раковина умываль- ника	Известь вен- ская (смесь $\text{CaO}+\text{MgO}$) в кашицеобразном состоянии. Вода	Операцию повторить не- сколько раз, вода должна равномерно смачивать всю поверхность детали
9	ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОБЕЗЖИРИ- ВАНИЯ завешать подвеску с деталью в ванну,	Ванна электрохимическо- го обезжиривания	10 г/л NaOH^+ 25 г/л Na_2CO_3^+	

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5
9	включить источник питания и установить расчетную величину переменного тока, обезжирить, выключить ток, вынуть подвеску с деталью из ванны, выдержать над ванной, чтобы стек раствор, опустить в кружку (для переноса)	Подвеска с деталью. Аноды (сталь 12Х18Н10Т). Кружка полиэтиленовая (фарфоровая)	+25 г/л Na ₂ PO ₄ ⁺ +5г/л ОП-7 +вода t = 40 – 50 °С. D = 8А/дм ² . τ = 5 мин	Обеспечить надежный контакт подвески и электродов со штангами ванны
10	МОЕЧНАЯ промыть подвеску с деталью в холодной воде и выдержать в ней	Ванна промывки холодной водой. Подвеска с деталью	Вода	Разрывы пленки на поверхности детали недопустимы
11	ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ удалить шлифовальной шкуркой с поверхности анода пленку оранжевого цвета (при ее наличии), промыть анод струей холодной воды, завешать в ванну хромирования	Анод (свинец С-2). Шкурка шлифовальная №200-100. Стол лабораторный. Раковина умывальника. Ванна декоративного хромирования	Вода	Рабочая поверхность анода должна быть темно-коричневого цвета. Наличие пленки оранжевого цвета недопустимо. При выполнении этой операции подвеска с деталью должна находиться в ванне с холодной водой
12	ОСАЖДЕНИЯ ХРОМА завешать подвеску с деталью в ванну хромирования, выдержать в электролите без тока 3 с, включить источник питания ванны и установить величину тока анодного декапирования, выдержать 30–50 с, изменить переключателем направление тока, выдержать 40 с и установить ток наращивания 1-го слоя хромирования, выдержать расчетное время,	Ванна декоративного хромирования. Подвеска с деталью. Анод (свинец С-2)	300 г/л CrO ₃ +60 г/л СаСО ₃ +15 г/л СаSO ₄ + вода. t = 18 –25 °С. Для стали D _a =60 А/дм ² , τ = 50 с. Для хрома D _a =30 А/дм ² ,	Обеспечить надежный контакт подвески и анода со штангами ванны хромирования. Перерывы тока недопустимы. При выполнении операции поддерживать необходимые величины тока загрузки ванны

Продолжение табл. 6.

1	2	3	4	5
12	установить ток наращивания 2-го слоя, выдержать до получения толщины 3 мкм, выключить ток и осторожно вынуть подвеску с деталью из ванны, выдержать над ванной, чтобы стек электролит		$\tau = 30$ с. 1-й слой (10мкм) $D_k=15$ А/дм ² . 2-й слой (3мкм) $D_k=30$ А/дм ²	Выдержать расчетную величину продолжительности наращивания обеих слоев хрома
13	МОЕЧНАЯ ополоснуть подвеску с деталью в емкости для улавливания электролита, опустить в кружку (для переноса), промыть теплой и холодной водой	Емкость для улавливания электролита. Подвеска с деталью. Ванна промывки теплой и холодной водой. Кружка полиэтиленовая (фарфоровая)	Вода	На детали и подвеске не должно быть остатков электролита хромирования
14	НЕЙТРАЛИЗАЦИИ выдержать подвеску с деталью в нейтрализующем растворе, промыть холодной водой	Ванна нейтрализации. Подвеска с деталью. Ванна промывки холодной водой	10 %-ный раствор Na ₂ CO ₃ . $t = 18 - 25^{\circ}\text{C}$. $\tau = 5 - 10$ мин. Вода	Промывку холодной водой производить после выполнения операции 15, обеспечить полное удаление нейтрализующего раствора
15	МОЕЧНАЯ вынуть из ванны хромирования анод, ополоснуть его в емкости для улавливания электролита, перенести в раковину умывальника, промыть струей холодной воды, протирая поверхность волосяной кистью	Ванна декоративного хромирования. Емкость для улавливания электролита. Раковина умывальника. Кисть волосяная. Кружка полиэтиленовая (фарфоровая)	Вода	На аноде не должно остаться следов электролита хромирования. При выполнении этой операции подвеска с деталью должна находиться в ванне нейтрализации
16	СЛЕСАРНАЯ снять деталь с подвесного приспособления, снять с детали защитную изоляцию (экраны)	Верстак слесарный. Подвеска с деталью. Шабер трехгранный	-	Обеспечить исправность подвесного приспособления

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5
17	КОНТРОЛЬНАЯ протереть деталь насухо, проверить качество осажденного покрытия, определить его пористость, промыть струей холодной воды, протереть ветошью	Стол лабораторный. Ветошь обтирочная. Фильтровальная бумага. Раковина умывальника. Емкость с раствором для определения пористости	40г/л $K_2Fe(CN)_6$ + 15 г/л NaCl+ вода. $t = 18 - 25$ °С. Выдержка 3-5 мин	Покрытие должно быть молочно-серого цвета, гладким, без шишковатости, пittingа, дендритов и каких-либо внешних признаков отслаивания. Допускается не более 3 пор на 1 см^2 площади покрытия
18	ПОЛИРОВАЛЬНАЯ хромированную поверхность полировать в несколько переходов войлочным кругом с грубой пастой ГОИ, протереть ветошью, глянцевать в несколько переходов фланелевым кругом с тонкой пастой ГОИ, протереть ветошью	Одношпиндельный, двухсторонний полировальный станок. Круг войлочный. Круг фланелевый. Паста ГОИ (грубая, тонкая). Ветошь обтирочная	Частота вращения круга 1 530 об/мин. Давление круга на поверхность детали 0,05-0,2 МПа	Полировать и глянцевать до получения однородной блестящей поверхности. Наличие недополированных и переполлированных мест не допускается
19	КОНТРОЛЬНАЯ промыть деталь керосином, протереть ветошью, проверить качество полированной поверхности	Стол лабораторный. Емкость с керосином. Ветошь обтирочная	Керосин технический (или дизельное топливо)	Полированная поверхность хромого покрытия должна иметь высокий класс чистоты и однотонный зеркальный блеск. Следы обработки инструментом, признаки некачественного сцепления должны отсутствовать

Примечание. Технология защитно-декоративного хромирования стальных деталей изложена применительно к условиям выполнения студентами лабораторных работ.

Контрольные вопросы

1. Назначение защитно-декоративных покрытий и для каких деталей они применяются?
2. Охарактеризуйте защитные и декоративные свойства никеля и хрома.
3. Почему применяются многослойные защитно-декоративные покрытия и какие они бывают?
4. Расскажите о подготовке поверхностей перед наращиванием защитно-декоративных покрытий.
5. Как производится обработка защитно-декоративных покрытий после наращивания?
6. Назовите состав тетрахроматного саморегулирующего электролита хромирования и преимущества его применения.
7. Перечислите операции технологического процесса наращивания двухслойного покрытия электролитического хрома.
8. Как производится контроль качества защитно-декоративных покрытий хрома после его наращивания и после глянцеваания?
9. Что такое пасты ГОИ и какие они бывают?
10. Как оценивают пористость, степень чистоты и блеска хромовых покрытий?

Глава 6. ЗАЩИТНОЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ ЦИНКОВАНИЕ

6.1. Свойства и применение цинковых покрытий

Цинк – металл серебристо-белого цвета. Температура плавления его $470\text{ }^{\circ}\text{C}$, плотность $7,13\text{ г/см}^3$. Он легко растворяется в растворах всех кислот и едких щелочей. В атмосферных условиях цинк подвергается коррозии, образуя различные химические соединения.

Электродные цинковые покрытия светло-серого цвета (со временем темнеют) легко паяются с бескислотными флюсами. Они мягки, пластичны и хорошо выдерживают изгибы, развальцовку, вытяжку, но плохо запрессовку. Микротвердость их не превышает $500 - 600\text{ МПа}$ ($50 - 60\text{ кгс/мм}^2$) и для работы в условиях трения они непригодны.

Цинкование – наиболее дешевый, эффективный и самый распространенный метод защиты черных металлов от коррозии. По механизму защиты цинковые покрытия относятся к анодным. Стандартный электродный потенциал цикла равен $-0,76\text{ В}$. Будучи более электроотрицательным, чем железо (см. табл. 1), в контакте с ним цинк создает гальванопару, в которой он является анодом. Поэтому в результате электрохимической коррозии цинк растворяется, защищая железо от коррозионного разрушения. Характерно, что продукты коррозии цинка, заполняя поры в покрытии, тормозят коррозионный процесс и этим улучшают его защитные свойства.

Срок службы цинковых покрытий обуславливается их толщиной и скоростью растворения, которая зависит от условий эксплуатации изделий и в промышленных районах составляет $1 - 1,5\text{ мкм/год}$. Анодный характер цинка по отношению к стали позволяет защищать оголенные участки поверхности, отстоящие на расстоянии нескольких миллиметров от кромки покрытия. Забоины и царапины на цинковом осадке существенно не влияют на коррозию изделий. Протекторное действие цинка обуславливает также защиту от коррозии непокрытой резьбы гаек, если они навинчены на оцинкованные болты, срезов листовых оцинкованных материалов.

В ремонтном производстве цинковые покрытия широко применяются для защиты от коррозии крепежных деталей (болтов, винтов, шпилек, гаек и т.п.), деталей электрооборудования и приборов, пружинящих деталей, а также различных изделий из листового металла,

проволоки, труб. Рекомендуемая толщина защитных цинковых покрытий для различных условий эксплуатации приведена в прил. 7.

6.2. Особенности электролитического цинкования

Технологический процесс защитного цинкования состоит из цикла различных операций, последовательность выполнения которых изображена на рис. 27.

Химическое травление черных металлов перед наращиванием цинка проводят главным образом в 10 – 15 %-ных растворах серной и соляной кислот или их смесей при температуре 30 – 50 °С в течение 30 – 90 мин. Особенности галтовки и крацевания изложены в п. 2.5.

Струйная гидроабразивная обработка заключается в том, что струя абразивной суспензии (жидкости со взвешенными в ней абразивными зернами) под давлением 0,3 – 0,6 МПа направляется на поверхность обрабатываемой детали.

В качестве абразивного материала используют кварцевый и металлический песок с размером зерна 0,3 – 1,5 мм или абразивный порошок зернистостью 10 – 16. Струйная гидроабразивная обработка является самым производительным и высококачественным способом подготовки стальных и чугунных деталей к цинкованию. Она позволяет получить 8 – 10 класс шероховатости обрабатываемых поверхностей.

В производственных условиях цинкование крупных деталей производят в стационарных ваннах. Цинкование же крепежных и других мелких деталей проводят в барабанных или колокольных ваннах (погружного или наливного типа), снабженных индивидуальным электроприводом. Для покрытия мелкие детали загружаются в них россыпью (без закрепления на подвесных приспособлениях).

При выполнении предыдущих и последующих операций мелкие детали засыпают в сетчатые корзины, изготовленные из кислотостойких материалов или проволоки из коррозионно-стойкой стали.

При цинковании электрохимическая подготовка поверхностей проводится путем анодного травления или активирования (химического декапирования).

Химическое декапирование – травление деталей в растворах серной, соляной, азотной кислот. Крепежные и другие мелкие детали рекомендуется активировать в 5 – 10 %-ном растворе HCl с добавлением 40 – 50 г/л уротропина в течение 0,5 – 2,0 мин.

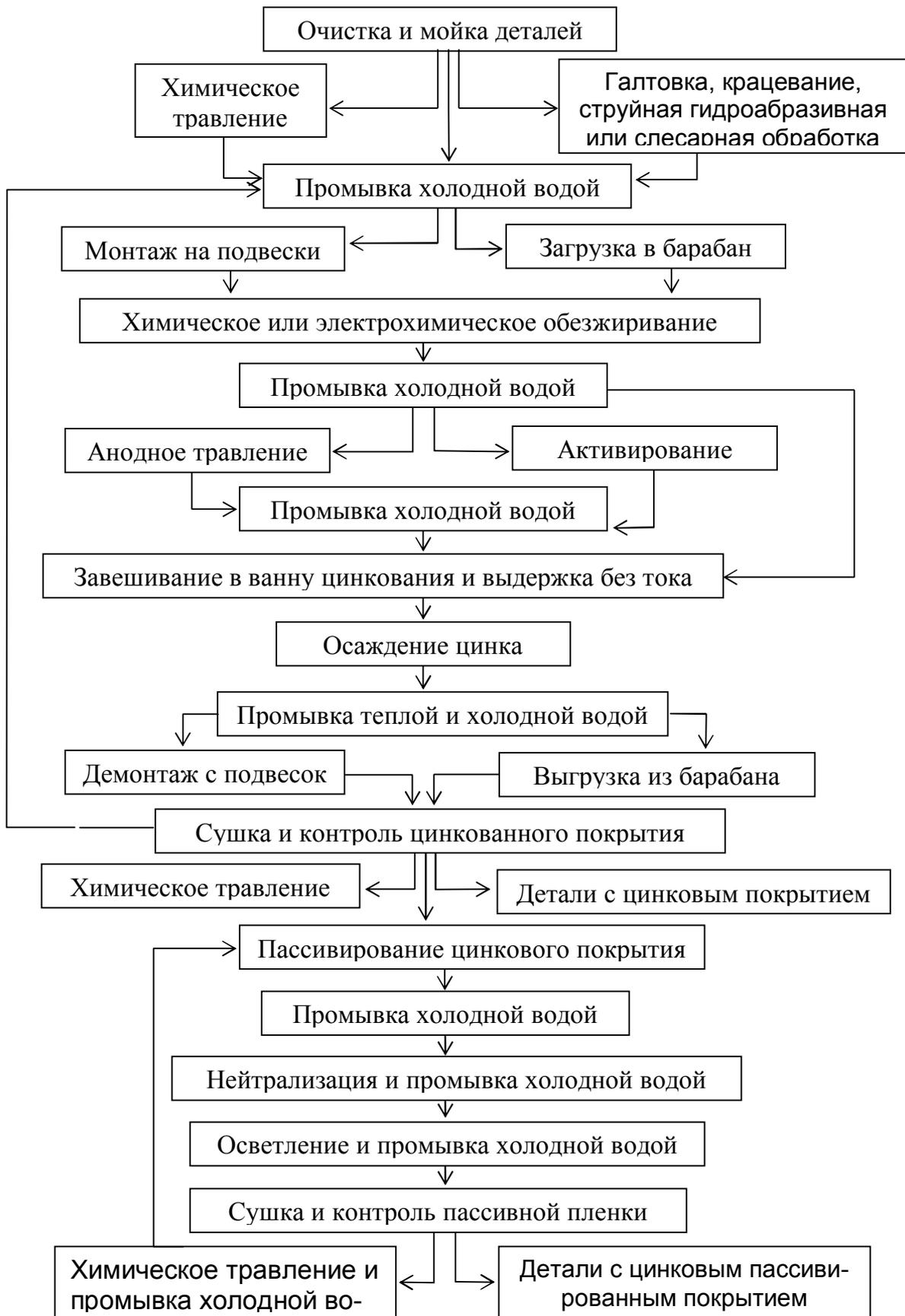


Рис. 27. Схема технологического процесса защитного электролитического цинкования деталей

Анодное травление стальных деталей проводится в 30%-ном растворе серной кислоты H_2SO_4 при $t = 18 - 25$ °С, анодной плотности тока $10 - 50$ А/дм² в течение $1 - 3$ мин. Детали при этом завешивают в ванну анодного травления в качестве анода, катодами служат пластины из свинца С1...С3. Под действием электрического тока происходит интенсивное травление поверхности детали, а выделяющиеся пузырьки кислорода срывают травильный шлак и обрабатываемая поверхность становится чистой, с отчетливо выявленной структурой и специфическим микрорельефом. Образующаяся при этом пассивная пленка защищает металл детали от окисления при последующей промывке водой. После анодного травления поверхность стальных деталей должна иметь характерный матовый, тускло-серебристый цвет. Наличие блеска, темных пятен и следов травильного шлама недопустимо.

Защитные свойства цинковых покрытий определяются не средней толщиной слоя цинка на поверхности детали, а фактической толщиной на том или ином участке. Поэтому покрытие должно быть равномерным, а равномерность обуславливается рассеивающей способностью электролита.

Для электроосаждения цинка используют кислые и щелочные электролиты. Кислые (сульфатные, борфтористоводородные, бензолсульфоновые и т.д.) обладают плохой рассеивающей способностью. Покрытия, получаемые из них, имеют малую коррозионную стойкость и используются для защиты малорельефных деталей.

Щелочные электролиты обладают хорошей рассеивающей способностью. Покрытия, осаждаемые из них, отличаются мелкокристалличностью, незначительной пористостью и высокой коррозионной стойкостью. Используются они для цинкования деталей сложной конфигурации. В качестве щелочных электролитов для электролитического защитного цинкования широко применялись цианистые электролиты. Но они ядовиты и обращаться с ними необходимо было очень осторожно (возможно образование синильной кислоты). Для замены цианистых электролитов разработаны и используются цинкатные, аммиакатные, пирофосфатные и др. электролиты, в которых цинк находится в виде простых или комплексных ионов. Они не ядовиты, обладают хорошей рассеивающей способностью и предназначены для цинкования деталей простой и сложной конфигурации.

Из щелочных электролитов часто применяется аммиакатный электролит, содержащий 300 г/л сернокислого цинка $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$,

200 г/л сернокислого аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 5 г/л уксусно-кислого аммония $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, 7 – 10 г/л декстрина $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_5$. Режим электролиза: кислотность электролита $\text{pH} = 8,9 - 9$; температура $t = 20 - 25$ °С; катодная плотность тока $D_k = 1 - 2$ А/дм². Процесс идет со скоростью наращивания 20 – 50 мкм/ч. Защищаемые детали являются при этом катодами. Аноды применяют растворимые марок Ц0, Ц1, Ц2. Периодически их очищают травлением или стальными щетками от шлама и пассивных пленок.

Контроль покрытия электролитического цинка в производственных условиях включает в себя внешний осмотр наращенных поверхностей, определение прочности сцепления и толщины цинкового осадка. Внешний осмотр производится визуально при дневном или искусственном освещении (освещенность не менее 300 лк). Качественное цинковое покрытие должно быть светло-серого или серебристо-блестящего цвета с однородным оттенком, гладким, без шероховатости, дендритов и "подгара" на кромках. Прочность сцепления оценивается нанесением сетки царапин, изгибом контрольной пластины или легким ударом. Отбраковке подлежат оцинкованные изделия, имеющие непокрытые участки поверхности, шероховатость, дендриты, отслаивание осадка в виде отдельных вздутий (пузырей) или осыпающихся частиц, а также детали с темно-серым, губчатым цинковым осадком. Удаление недоброкачественных покрытий производится химическим травлением в 5 – 10 %-ном растворе серной или соляной кислоты. После удаления недоброкачественных покрытий детали повторно подвергаются цинкованию (см. рис. 27). Пористость цинковых покрытий обычно не контролируется, так как она, учитывая анодный характер защиты цинка, не регламентируется техническими условиями.

Толщина осадка цинка может быть проконтролирована химическими и физическими методами (специальными толщиномерами). Из химических методов наиболее простой – капельный метод. Он позволяет определить толщину цинкового покрытия на каком-либо участке поверхности (местную толщину). Точность его колеблется в пределах ± 30 %. Этот метод основан на растворении покрытия последовательно наносимыми каплями раствора, содержащего 100 г/л кристаллического йода I и 200 г/л йодистого калия KI. Контроль производится следующим образом. На плоскую (ровную) тщательно промытую и высушенную поверхность цинкового покрытия капельницей с внутренним диаметром капилляра 1,8 – 2,0 мм наносят одну каплю рас-

творя и выдерживают 60 с. По истечении этого времени каплю удаляют фильтровальной бумагой, участок насухо вытирают и на то же место наносят следующую каплю свежего раствора. Нанесение капель продолжают до тех пор, пока не обнаружится сплошной участок основного металла. Толщину покрытия рассчитывают по формуле

$$\delta_u = (n - 0,5) \delta_k \quad (27)$$

где n – число капель раствора, расходуемых для обнажения основного металла; δ_k – толщина покрытия, растворяемого одной каплей раствора в течение заданного времени (прил. 8).

6.3. Повышение антикоррозионных свойств цинковых покрытий

Для повышения антикоррозионных свойств цинковое покрытие в ряде случаев подвергают специальной обработке:

- а) пассивированию и осветлению;
- б) фосфатированию;
- в) окраске лаками и эмалями защитного назначения.

Пассивирование проводят в растворе хромовой, азотной и серной кислот следующего состава, г/л:

хромовый ангидрит CrO_3	100 – 150;
азотная кислота HNO_3	10 – 20;
серная кислота H_2SO_4	5 – 10.

Продолжительность обработки 20...30 с при $t = 18...25$ °С. В результате на поверхности цинкового покрытия образуются цветные (хроматные) пленки радужных оттенков. Они имеют пористую структуру и толщину порядка 0,25...0,5 мкм. После тщательной промывки водой и нейтрализации образовавшуюся на цинковом покрытии пассивную пленку осветляют в течение 25...30 с в растворе тринатрийфосфата $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (50...60 г/л) при комнатной температуре. Затем детали промывают холодной водой и сушат.

Качество пассивной пленки на цинковых покрытиях определяют визуально. Цвет пленки может изменяться от светло-желтого, зеленоватого до розового и фиолетового. Коричневый цвет свидетельствует о низком ее качестве и на мелких деталях недопустим. Механическую прочность пленки проверяют стиранием ее пальцем с нажимом. Если она стирается, то ее механическая прочность считается недостаточной. Забракованную пассивную пленку удаляют в 3%-ном растворе азотной

кислоты HNO_3 (время выдержки 2 – 15 с), после чего процесс пассивирования повторяют снова (см. рис. 27).

Фосфатирование цинковых покрытий – это обработка их в растворах фосфорной кислоты. Для этого чаще всего используют раствор следующего состава: окись цинка ZnO – 20...35 г/л; ортофосфорная кислота H_3PO_4 – 20...30 г/л; натрий азотистокислый NaNO_2 – 1,5...2,0 г/л. Продолжительность обработки 25...30 мин при температуре 28...30 °С. После фосфатирования покрытие цинка пассивируют в растворе бихромата натрия $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (50...80 г/л) при температуре 50...80 °С в течение 2...3 с.

6.4. Технология защитного цинкования

На практике находят применение следующие способы нанесения защитных цинковых покрытий:

- погружение изделий в расплавленный цинк (горячий способ);
- метод термической диффузии;
- металлизация;
- контактный метод осаждения цинка;
- электролитический метод.

Горячий способ цинкования является самым старым и благодаря своей простоте наиболее распространен в промышленности. При данном способе покрываемые изделия погружают в ванну с расплавленным цинком, выдерживают в ней короткий промежуток времени и вынимают с осевшим на них слоем цинка. Этот способ возможен благодаря способности расплавленного цинка равномерно покрывать поверхность детали.

Сущность диффузионного метода заключается в том, что детали, уложенные в соответствующие упаковочные приспособления и пересыпанные порошкообразным цинком, нагревают до температуры, при которой цинк осаждается на поверхности детали и диффундирует в глубину металла.

Металлизацией принято называть процесс получения покрытий распылением расплавленного металла. Этот метод довольно широко применяется для нанесения покрытий цинка, свинца, алюминия, олова, никеля, меди и стали. Метод основан на прилипанию расплавленных частиц металла к поверхности детали, наслаивании их на соседние частицы и образовании довольно пористого чешуйчатого покрытия.

Контактный способ осаждения цинка осуществляется за счет работы гальванической пары, образующейся при погружении стальных изделий в контакт с алюминием в раствор цинковой соли. Цинк при этом вытесняется алюминием. Но покрытия, получаемые данным способом, отличаются незначительной толщиной и низкими защитными свойствами.

Электролитический метод цинкования является наиболее рациональным, благодаря чему нашел широкое распространение на практике. Содержание операций технологического процесса защитного электролитического цинкования крепежных деталей из аммонийного электролита (с учетом необходимости удаления забракованных покрытий и снятия некачественной пассивной пленки), требования к их выполнению приведены в табл. 7. При цинковании в аммиакатном электролите возможны следующие основные неполадки и причины их возникновения:

а) сильное газовыделение (недостаток серноокислого цинка в электролите);

б) низкий выход по току при нормальном составе электролита (температура электролита выше 40 °С);

в) покрытие имеет темный цвет, электролит прозрачен, пены нет (в электролите недостаточное содержание декстрина);

г) пригар и губчатые осадки на краях деталей (высокая катодная плотность тока, низкая температура электролита);

д) серые шероховатые осадки при нормальной D_k (недостаточное количество аммония в электролите);

е) темное губчатое покрытие цинка (загрязнение электролита медью и свинцом).

При наращивании цинковых покрытий на детали, имеющие сварные швы, в технологических процессах необходимо предусматривать:

- применение абразивной или гидроабразивной обработки для удаления поверхности окалина и плотной корки окислов;

- использование во всех операциях процесса щелочных растворов (щелочь, попавшая в поры сварного шва, не воздействует на сталь, но после высыхания на стенках пор остается налет щелочных солей);

- увеличение продолжительности промывочных операций до 3 – 5 мин для более полного удаления остатков электролита из труднодоступных мест;

- форсированный режим сушки ($t = 90 - 100$ °С; $\tau = 1,0 - 1,5$ ч), способствующий полному удалению влаги из пор, разрывов осадка и других дефектов.

Таблица 7

Технологический процесс защитного электролитического цинкования деталей машин

№ опер.	Наименование и содержание операции	Применяемое оборудование и инструмент	Раствор и рабочий режим	Особые указания
1	2	3	4	5
1	ОЧИСТКИ закрепить деталь в слесарных тисках, очистить от коррозии, окалины, старой краски, смолистых отложений, протереть ветошью. Повторить операцию для других деталей	Верстак, тиски слесарные. Щетка стальная. Шабер трехгранный. Ветошь обтирочная	-	На деталях (особенно по внутреннему диаметру резьбы) не должно быть коррозии, окалины, старой краски и смолистых отложений
2	СЛЕСАРНАЯ удалить заусенцы, зачистить задиры, обработать поверхности детали шлифовальной шкуркой (при необходимости), протереть деталь ветошью. Повторить операцию для других деталей	Верстак, тиски слесарные. Напильник трехгранный 150x9-1. Шкурка шлифовальная № 125-80. Ветошь обтирочная	-	Наличие на деталях (особенно на резьбе) заусенцев, задиоров недопустимо
3	ОБЕЗЖИРИВАНИЯ промыть детали в бензине, протереть ветошью	Емкость с бензином. Кисть волосяная. Ветошь обтирочная	Бензин неэтилированный Б-70, А-80, БР-1	Следы смазки и остатки абразива должны быть удалены

Продолжение табл. 7

1	2	3	4	5
4	<p>ВЫПОЛНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ</p> <p>замерить размеры защищаемых поверхностей, определить площадь покрытия болта, гайки и общую площадь покрытия деталей, рассчитать загрузку по току ванн электрохимического обезжиривания, анодного травления, цинкования, вычислить процентность осаждения цинка (исходя из заданных условий работы изделия)</p>	<p>Стол лабораторный. Линейка измерительная 150 мм. Штангенциркуль 125 мм. Резьбомер № 1</p>	-	<p>Загрузку ванн по току опеределять исходя из общей площади покрытия всех крепежных деталей. Величины D, D_a, D_k см. операции 7, 9, 12 (см. подр. 2.4)</p>
5	<p>МОНТАЖНАЯ</p> <p>закрепить деталь (детали) в подвесном приспособлении, изолировать места, не подлежащие цинкованию (при необходимости)</p>	<p>Верстак слесарный. Подвесное приспособление (подвеска). Кисть волосяная</p>	<p>Цапонлак. Лента ПВХ</p>	<p>Изоляцию проводить цапонлаком, наносимым в 2-3 слоя, или липкой полихлорвиниловой лентой. Обеспечить гарантированный контакт деталей с подвеской</p>
6	<p>ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗЖИРИВАНИЯ</p> <p>протереть поверхности, подлежащие цинкованию, обезжиривающей смесью, промыть струей холодной воды</p>	<p>Ванна химического обезжиривания. Подвеска с деталью (детали). Кисть волосяная. Раковина умывальника</p>	<p>Известь венская (смесь СаО+MgO) в кашицеобразном состоянии. Вода</p>	<p>Операцию повторить несколько раз, вода должна равномерно смачивать все поверхности деталей</p>

1	2	3	4	5
7	<p>ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОБЕЗЖИРИВАНИЯ</p> <p>завешать подвеску с деталями в ванну, включить источник питания и установить расчетную величину переменного тока, обезжирить, отключить ток и вынуть подвеску с деталями из ванны, выдержать ее над ванной, чтобы стек раствор, опустить в кружку (для переноса)</p>	<p>Ванна электрохимического обезжиривания. Подвеска с деталями. Электроды (сталь 12Х18Н10Т). Кружка полиэтиленовая (фарфоровая)</p>	<p>10г/л NaOH + 25г/л Na₂CO₃ + 25 г/л Na₃PO₄ + 5 г/л ОП-7 + вода. t = 40 – 50 °С. D = 8 А/дм². τ = 5 мин</p>	<p>Обеспечить надежный контакт подвески и электродов со штангами ванны</p>
8	<p>МОЕЧНАЯ</p> <p>промыть подвеску с деталями в теплой воде, ополоснуть холодной водой</p>	<p>Ванна промывки теплой водой, ванна промывки холодной водой. Подвеска с деталями</p>	<p>Вода</p>	<p>Разрывы пленки холодной воды на поверхности детали недопустимы</p>
9	<p>АНОДНОГО ТРАВЛЕНИЯ</p> <p>завешать подвеску с деталями в ванну, выдержать без тока 5 с, включить источник питания ванны и установить расчетную величину тока, травить детали на аноде, выключить ток и вынуть подвеску с деталями из ванны, выдержать над ванной, чтобы стек электролит, опустить в кружку (для переноса)</p>	<p>Ванна анодного травления. Подвеска с деталями. Катоды (свинец С-1). Кружка полиэтиленовая (фарфоровая)</p>	<p>365г/л H₂SO₄ + (10–25)г/л FeSO₄ · 7H₂O + вода. t = 18 – 25 °С. D_a = 10 А/дм². τ = 3 мин</p>	<p>Поддерживать необходимую величину тока. Поверхности деталей должны быть матовыми, наличие темных пятен и блеска недопустимо. При наличии темных пятен и непрочистивших мест операцию повторить</p>
10	<p>МОЕЧНАЯ</p> <p>промыть подвеску с деталями в холодной воде и выдержать в ней</p>	<p>Ванна промывки холодной водой. Подвеска с деталями</p>	<p>Вода</p>	<p>На подвеске и деталях не должно быть остатков электролита анодного травления</p>

Продолжение табл. 7

1	2	3	4	5
11	<p>ПОДГОТОВИТЕЛЬНАЯ очистить аноды стальной щеткой, ополоснуть струей холодной воды, завешать аноды в ванну цинкования</p>	<p>Аноды (цинк Ц0-Ц2). Щетка стальная. Раковина умывальника. Ванна цинкования</p>	<p>Вода</p>	<p>На анодах не должно быть остатков травильного шлама. При выполнении этой операции подвеска с деталями должна находиться в ванне с холодной водой</p>
12	<p>ОСАЖДЕНИЯ ЦИНКА завешать подвеску с деталями в ванну цинкования, выдерживать в электролите без тока 3 с, включить источник питания ванны и установить рабочую величину тока, выдерживать до получения осадка необходимой толщины, выключить ток, вынуть подвеску с деталями из ванны, выдерживать над ванной, чтобы стек электролит, опустить в кружку (для переноса)</p>	<p>Ванна цинкования. Подвеска с деталями. Аноды (цинк Ц0-Ц2). Кружка полиэтиленовая (фарфоровая)</p>	<p>300г/л $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ + 200г/л $(NH_4)_2 SO_4$ + 5г/л CH_3COONH_4 + 10г/л $C_6H_6O_5$ + вода. $t = 18 - 25 \text{ }^\circ C$. $D_K = 1,5 \text{ A/дм}^2$. τ – расчетное</p>	<p>Обеспечить надежный контакт подвески и анодов со штангами ванны цинкования. Перерывы тока не допускаются. В процессе электроосаждения поддерживать необходимую величину тока питания ванны</p>
13	<p>МОЕЧНАЯ промыть подвеску с деталями в теплой воде, ополоснуть холодной водой и выдерживать в ней</p>	<p>Ванна промывки теплой водой. Ванна промывки холодной водой. Подвеска с деталями</p>	<p>Вода</p>	<p>На деталях и подвеске не должно быть остатков электролита цинкования</p>

Продолжение табл. 7

1	2	3	4	5
14	<p>МОЕЧНАЯ</p> <p>вынуть из ванны цинкования аноды, выдержать их над ванной, чтобы стек электролит, перенести в раковину умягальника, удалить с их поверхности травильный шлам, промыть струей холодной воды</p>	<p>Ванна цинкования. Кружка полиэтиленовая (фарфоровая). Раковина умягальника. Щетка стальная. Кисть волосяная</p>	<p>Вода</p>	<p>Аноды из ванны следует вынимать осторожно. Тщательно промыть, наличие травильного шлама на них недопустимо. При выполнении этой операции подвеска с деталями должна находиться в ванне с холодной водой</p>
15	<p>СЛЕСАРНАЯ</p> <p>снять деталь (детали) с подвеса приспособления, снять с детали защитную изоляцию (при ее наличии)</p>	<p>Верстак слесарный. Подвеска с деталями. Шабер трехгранный</p>	<p>—</p>	<p>Обеспечить исправность подвеса приспособления</p>
16	<p>КОНТРОЛЬНАЯ</p> <p>протереть детали насухо, проверить качество цинкового осадка, определить местную толщину нарощенного слоя цинка (на головке болта или на грани гайки), промыть струей холодной воды, протереть насухо</p>	<p>Стол лабораторный. Ветошь обтирочная. Капельница с раствором для определения толщины. Бумага фильтровальная. Раковина умягальника. Чертилка специальная. Индукционный толщиномер</p>	<p>100 г/л I + 200 г/л KI + вода. Выдержка одной капли 50 с. $t = 15 - 27^\circ\text{C}$</p>	<p>Покрытие должно быть светлого цвета без темных пятен, плотным, гладким, без шероховатости и питтинга. При нанесении сетки царапин (до основного металла) отслоения и осыпания его не допускаются. Местная толшина осадка должна быть примерно равна расчетной</p>

1	2	3	4	5
17	<p>ХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ (при необходимости) опустить деталь (детали) в емкость для удаления цинкового покрытия, выдерживать до полного растворения осадка, вынуть деталь (детали), промыть холодной водой, протереть ветошью. Повторить операции 5 - 16</p>	<p>Емкость для удаления цинковых покрытий. Приспособление для загрузки (выгрузки) мелких деталей. Ванна промывки холодной водой. Ветошь обтирочная</p>	<p>10 %-ный раствор H_2SO_4 (HCl). $t = 18 - 25 ^\circ C$. Выдержка до полного растворения осадка. Вода</p>	<p>Удалению подлежит рыхлое, недоброкачественное покрытие с неудовлетворительной прочностью сцепления. После травления наличие остатков цинкового покрытия на детали недопустимо</p>
18	<p>ПАССИВИРОВАНИЯ опустить детали в емкость для пассивирования, выдерживать в растворе, вынуть детали, промыть струей холодной воды, ополоснуть в нейтрализующем растворе, промыть холодной водой</p>	<p>Емкость для пассивирования. Приспособление для загрузки (выгрузки) мелких деталей. Кисть волосяная. Раковина умывальника. Ванна нейтрализации</p>	<p>150г/л CrO_3 + 20г/л HNO_3 + 10г/л H_2SO_4 + вода. $t = 18 - 25 ^\circ C$. $\tau = 20 - 30$ с. 10%-ный раствор Na_2CO_3. $\tau = 5 - 10$ мин. Вода</p>	<p>Периодическим встряхиванием (поворачиванием) обеспечить равномерность обработки всей поверхности деталей. Обеспечить полное удаление остатков раствора для пассивирования</p>
19	<p>ОСВЕТЛЕНИЯ опустить детали в емкость для осветления, выдерживать в растворе, вынуть детали, промыть струей холодной воды</p>	<p>Емкость для осветления хроматной пленки. Приспособление для загрузки мелких деталей. Раковина умывальника</p>	<p>55г/л Na_3PO_4. $12H_2O$ + вода. $t = 18 - 25 ^\circ C$. $\tau = 25 - 30$ с</p>	<p>Обеспечить равномерность обработки всей поверхности деталей</p>

1	2	3	4	5
20	<p>КОНТРОЛЬНАЯ</p> <p>прогреть детали насухо, проверить качество пассивной пленки</p>	<p>Стол лабораторный. Ветошь обтирочная</p>	-	<p>Пассивная пленка должна быть от светло-желтого до розового или фиолетового цвета. Коричневый цвет недопустим. При истирании пальцем с нажимом пленка не должна стираться</p>
21	<p>ХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ (при необходимости)</p> <p>опустить детали в емкость для удаления хроматной пленки, выдержать до полного ее исчезновения, вынуть детали, промыть холодной водой. Повторить операции 18 – 20</p>	<p>Емкость для удаления хроматной пленки. Приспособление для загрузки мелких деталей. Ванна промывки холодной водой</p>	<p>3%-ный раствор HNO_3; $t = 18 - 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Выдержка до полного исчезновения хроматной пленки</p>	<p>Удалению подлежат хроматная пленка коричневого цвета и пленки с низкой механической прочностью</p>

П р и м е ч а н и я: 1. Технология электролитического защитного цинкования крепежных деталей изложена применительно к учебным лабораторным условиям. 2. В производственных условиях мелкие крепежные детали загружаются в ванны обезжиривания, анодного травления, моечные, цинкования и пр. россыпью (без закрепления в подвесные приспособления) – их засыпают в сетчатые корзины или барабаны. В этом случае контрольные операции 16, 20 производят по выборке из партии деталей. 3. В технологии защитного цинкования деталей вместо пассивирования и осветления могут быть назначены операции фосфатирования или окраски лаками и эмалями.

Контрольные вопросы

1. Характеризуйте свойства электролитического цинка.
2. Расскажите о сущности механизма защиты черных металлов от коррозии цинковыми покрытиями.
3. Для защиты каких деталей применяются цинковые покрытия и как называется их толщина?
4. В чем заключаются особенности технологии электролитического цинкования?
5. Какие электролиты используются для наращивания цинка?
6. Какими методами повышают антикоррозионные свойства цинковых покрытий?
7. Напишите состав аммонийного электролита.
8. Перечислите операции технологического процесса наращивания покрытий электролитического цинка.
9. Как производится контроль качества цинковых покрытий?
10. Назовите критерии оценки качества пассивной пленки на цинковом покрытии.
11. Какими способами производится удаление некачественных цинковых покрытий и забракованной пассивной пленки?
12. Расскажите о методах наращивания защитных цинковых покрытий.

Глава 7. ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ МЕДНЕНИЕ

7.1. Свойства медных покрытий

Электролитическая медь – мягкий (см. табл. 2), пластичный, без пор и микротрещин металл розово-красного цвета. Плотность его $8,9 \text{ г/см}^3$, температура плавления $1083 \text{ }^\circ\text{C}$. В атмосферных условиях она легко окисляется. При наличии в воздухе сернистых соединений медь покрывается темно-коричневым налетом сернистой меди. Под воздействием влаги и углекислоты атмосферы она покрывается зеленым налетом углекислых солей. Под действием хлористых соединений на поверхности медного осадка образуются хлористые соли.

В азотной и хромовой кислотах медь легко растворяется. Серная кислота хорошо реагирует с ней, особенно при нагревании. Соляная кислота и разбавленная серная кислота на медь практически не действуют. Медь имеет более положительный потенциал, чем железо (см. табл.1). Поэтому медные покрытия не могут защищать поверхность стальных деталей от коррозии электрохимически. Они защищают их только механически при отсутствии пористости.

Тем не менее, благодаря своей пластичности и свойству легко полироваться, медь широко применяется в многослойных защитно-декоративных покрытиях типа $\text{Cu} - \text{Ni} - \text{Cr}$ в качестве промежуточной прослойки. Такие многослойные покрытия гораздо менее пористы, чем однослойные, а применение в них меди существенно снижает удельный расход никеля и хрома. В качестве защитно-декоративных находят также применение тонированные (текстурированные) медные покрытия. Кроме этого, электролитические осадки меди используются в целях местной защиты отдельных поверхностей стальных деталей от цементации, улучшения прирабатываемости трущихся поверхностей.

7.2. Электролиты меднения и применение медных покрытий

Составы электролитов для меднения весьма разнообразны. Их разделяют на сернокислые и щелочные. Сернокислые электролиты обладают низкой рассеивающей способностью. В них трудно получить прочное сцепление меди со сталью (ввиду контактного выделения пористой меди – при погружении стальной детали в электролит

на ее поверхности без действия электрического тока выделяется медь).

Щелочные электролиты (цианистые, борфтористоводородные, пирофосфатные, аммиачные, щавелевокислые и т.д.) свободны от этих недостатков. Из них наибольшее распространение в настоящее время получили пирофосфатные и аммиачные электролиты. Аноды обычно изготавливают из листовой меди (марка М1) толщиной 5...15 мм. Их помещают в чехлы из хлорвиниловой ткани.

Покрyтия электролитической меди из пирофосфатных и аммиачных электролитов легко полируются до высокой степени блеска и имеют прочное сцепление со сталью, никелем и хромом. В авторемонтном производстве они применяются: для защиты деталей от коррозии, в качестве подслоя при защитно-декоративном никелировании и хромировании, для защиты отдельных участков детали от цементации (науглероживания), улучшения прирабатываемости и антифрикционности трущихся поверхностей.

Толщина медных покрытий зависит от их назначения. Так, для улучшения прирабатываемости зубчатых соединений она не превышает 30 мкм, при использовании меди в качестве подслоя при защитно-декоративном хромировании она лежит в пределах 10...20 мкм. Для защиты металла от науглероживания (при цементации) наращивают слой меди толщиной 40...60 мкм.

При необходимости медные покрытия (недоброкачественные или после цементации) удаляют с поверхности детали анодным растворением в хромовоаммонийном электролите (200...300 г/л хромового ангидрида CrO_3 и 50...100 г/л сернокислого аммония $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ при комнатной температуре и $D_a = 8 - 10 \text{ А/дм}^2$).

7.3. Технологический процесс меднения

Технологический процесс меднения из пирофосфатного электролита в целях местной защиты деталей от цементации состоит из последовательного выполнения операций, краткое содержание которых состоит в следующем:

001. Смочить 3...5 %-ным раствором кальцинированной соды Na_2CO_3 места, подлежащие меднению (детали, поступающие для меднения, должны быть чистыми, без заусенцев, раковин, окалины и масляных пятен).

005. Изолировать участки детали, подлежащие цементации

("воскировать"), герметично пристающей к поверхности детали, специальной пастой. Состав пасты для "воскирования" (% по весу):

- парафин технический –70;
- воск технический –10;
- канифоль сосновая –10;
- битум БН-IV (БН-V) –10.

Разогретую до температуры 60...70 °С пасту наносят на деталь кистью или окунаем. Пасту приготавливают следующим образом: взятое по расчету количество материалов разогревают в специальной ванне до температуры 100...110 °С, выдерживают 20...30 мин и охлаждают. В свежую пасту обычно добавляют 10...20 % пасты, бывшей в употреблении. Это улучшает прилипание пасты к металлу детали. Все последующие операции производят в растворах и электролитах с температурой не выше 20...25 °С.

009. Зачистить границы и протереть загрязненную поверхность участков, подлежащих меднению, уайт-спиритом (ацетоном). Избыток пасты после "воскирования" подрезать ножом.

013. Установить детали на подвесные приспособления и промыть холодной водой.

017. Произвести химико-механическое и электрохимическое обезжиривание поверхностей, подлежащих меднению. Тщательно промыть детали в холодной воде.

021. Произвести анодное декапирование в 10 %-ном растворе пиррофосфатного натрия $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (90 г/л). Температура процесса 18...25 °С; $D_a=5...6 \text{ А/дм}^2$; $\tau=0,5...1,0 \text{ мин}$.

025. Промыть детали холодной водой и повесить в ванну меднения в пиррофосфатном электролите. Состав его, г/л:

сернокислая медь CuSO_4	–	35;
пиррофосфорно-кислый натрий $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	–	110;
фосфорно-кислый натрий $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	–	95;
сегнетова соль $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$	–	35.

Для приготовления пиррофосфатного электролита его компоненты растворяют отдельно в теплой дистиллированной воде, после чего их сливают в ванну меднения и перемешивают. Готовый электролит имеет темно-синий цвет и содержит комплексные ионы двухвалентной меди. Температура электролита комнатная, $\text{pH}=8,8$. Загрузка деталей производится под током $D_k=0,5...2,0 \text{ А/дм}^2$. При $D_k=3...6 \text{ А/дм}^2$ выдерживают детали в электролите 30...50 мин (получаемая толщина меди 20...50 мкм).

029. Вынуть детали из ванны меднения, промыть холодной водой, произвести демонтаж их с подвесных приспособлений.

033. Снять изоляцию с участков детали, подлежащих цементации. Для этого омедненные детали погрузить в специальную ванну развоскирования с горячей (70...79 °С) водой и добавкой 1 %-ного раствора хромпика $K_2Cr_2O_7$. Всплывающую на поверхность воды пасту собрать и вновь использовать для изоляции.

037. Протереть детали ветошью (обдуть сжатым воздухом), зачистить границы омедненных участков (шкуркой или мелким напильником), произвести контроль качества покрытия.

Покрытие электролитической меди для защиты от цементации должно быть с резкими границами омедненной поверхности. Оно должно быть мелкокристаллической структуры без пор и микротрещин (мягким). Отслаивание и хрупкость его не допускаются. Пятнистость, различный цвет не являются дефектами. На участках, не подлежащих в дальнейшем механической обработке, допускается незначительная пористость (1...2 поры на 1 см^2).

По необходимости медные покрытия (недоброкачественные или после цементации) удаляют с поверхности деталей химическим или электрохимическим способом. При химическом растворении меди со стальных деталей применяют следующий состав раствора: хромовый ангидрид CrO_3 – 480 г/л, серная кислота H_2SO_4 – 64 г/л. При температуре 20 °С скорость растворения меди составляет 50 мкм/ч, а при 70 °С – 300 мкм/ч.

Для снятия меди со стальных деталей электрохимическим способом применяют хромоаммонийный электролит, содержащий: 200...300 г/л хромового ангидрида CrO_3 и 50... 100 г/л сернокислого аммония $(NH_4)SO_4$. Процесс ведут при температуре 18...30 °С и плотности тока 8–10 А/дм². Деталь при этом является анодом, катодами служат свинцовые пластины.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о свойствах медных покрытий.
2. Для чего применяются осадки электрохимической меди?
3. Из каких электролитов производится наращивание медных покрытий?
4. Перечислите операции технологического процесса меднения для защиты от цементации.
5. Напишите состав пасты для изоляции поверхностей детали, подлежащих цементации.
6. Из каких компонентов состоит пиррофосфатный электролит?
7. Как снимается изоляционная паста с участков детали, подлежащих цементации?

Глава 8. ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ СПЛАВОВ

Чтобы расширить возможности использования электрохимических покрытий, кроме чистых металлов применяют сплавы из двух и более компонентов. Электролитические сплавы обладают ценными свойствами: повышенной твердостью, хорошей коррозионной стойкостью и антифрикционностью, термостойкостью и большей износостойкостью. Они имеют меньшую пористость и более приятный внешний вид по сравнению с покрытиями из отдельных металлов, входящих в состав сплавов. Область их применения в авторемонтном производстве довольно обширна (см. п. 2.1).

8.1. Условия совместного электроосаждения металлов

Условием совместного разряда двух и более катионов является равенство потенциалов их разряда. Поскольку потенциалы металлов в растворах их простых солей различны (см. табл. 1), то при наращивании сплавов потенциалы разряда ионов металлов искусственно сближают. Это достигается разными методами: изменением концентрации соли металла в электролите, образованием комплексных ионов, введением в электролит органических добавок, применением предельного электрического тока для более электроположительного металла. Иногда сближение потенциалов разных металлов достигают в результате действия нескольких факторов. В каждом конкретном случае состав электролита и условия электролиза назначают такими, чтобы обеспечить осаждение сплава заданного состава, удовлетворяющего техническим требованиям, предъявленным к покрытию. Химический состав катодного осадка определяется прежде всего соотношением концентрации ионов металлов в электролите.

Таким образом, главными факторами, которые определяют возможность одновременного электроосаждения двух (или более) металлов и относительное содержание их в сплаве, являются:

- а) величины равновесных потенциалов каждого металла в данном электролите;
- б) катодная поляризация каждого металла;
- в) концентрация ионов осаждающихся металлов в электролите;
- г) перенапряжение водорода на осаждающемся сплаве;
- д) температура, плотность тока, перемешивание электролита, наличие в нем коллоидов и поверхностно-активных веществ.

Влияние каждого фактора в отдельности может быть учтено приблизительно, но чрезвычайно трудно заранее предвидеть эффект одновременного изменения нескольких факторов.

Электролитические сплавы отличаются по своим физико-химическим свойствам от сплавов того же химического состава, но полученных металлургическим путем. При электрокристаллизации может иметь место раздельная кристаллизация компонентов или образование твердых растворов, в которых кристаллическая решетка построена из атомов нескольких металлов.

Структура электролитических сплавов отличается мелкозернистостью. В них может присутствовать механическая смесь твердого раствора и одного из металлов, возможно появление новых фаз, которых нет на диаграмме состояния. И, наконец, они могут иметь слоистое строение. Решающее влияние на структуру электроосажденных сплавов и их свойства оказывают перечисленные выше факторы.

Электролитические сплавы разнообразны по составу и назначению. Ниже рассмотрены особенности наращивания износостойких, защитных и антифрикционных покрытий, наиболее часто используемых в ремонтном производстве.

8.2. Сплавы железа

Сплав железо-никель. Совместное осаждение железа и никеля не встречает каких-либо технологических затруднений. Для этого обычно применяют хлористые электролиты. Хотя стандартный потенциал никеля меньше, чем железа (см. табл. 1), но при их совместном осаждении преимущественно выделяется железо в результате деполяризации его в присутствии ионов никеля. На производстве применяют электролит, содержащий, г/л:

- хлористое железо $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 200 – 500;
- хлористый никель $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 20 – 400;
- соляную кислоту HCl 0,8 – 1,2.

Температура процесса 75...80 °С, катодная плотность тока 20...100 А/дм². Формирование покрытия происходит со скоростью 0,3...0,4 мм/ч ($\alpha_k=89...95$ %). Получаемые осадки имеют микротвердость более 600 кгс/мм². Они содержат до 24 % никеля. Схема технологического процесса такая же, как и при обычном осталивании. Аноды используют из малоуглеродистой стали, хлористый никель периодически добавляют в электролит.

Железоникелевые покрытия рекомендуются для восстановления деталей, работающих в тяжелых коррозионных условиях (поворотные цапфы, шкворни, шейки разжимных кулаков и т.д.). Высокая теплоустойчивость сплава Fe-Ni позволяет использовать его для восстановления гильз цилиндров.

Сплав железо-марганец. Железомарганцевые покрытия получают из электролита следующего состава: 200...250 г/л хлористого железа, 100...150 г/л хлористого марганца, 100...125 г/л хлористого аммония и 2...3 г/л соляной кислоты. Температура электролита 60...70 °С, катодная плотность тока 30...40 А/дм². При $\alpha_k=75...85\%$ содержание марганца в сплаве достигает 1,6 %. Покрытия Fe-Mn коррозионностойки, обладают более высокой твердостью и износостойкостью (на 30 % больше чем обычное электролитическое железо).

Сплав железо-цинк. Покрытия железоцинковым сплавом применяют для восстановления изношенных посадочных мест под подшипники в корпусных деталях. При этом наращивание их производят безваннным способом или электронатирированием (см. п. 2.6.1).

Сплав Fe-Zn рекомендуется также для восстановления электронатирированием алюминиевых деталей, в частности поршней автотракторных двигателей и поршней рабочих тормозных цилиндров. Для этого используют электролит, содержащий: 200...240 г/л серно-кислого цинка, 80...120 г/л серно-кислого железа, 10...15 г/л лимонно-кислого натрия, 10...15 г/л хлористого аммония, 20...25 г/л борной кислоты. Серную кислоту добавляют до pH=2,5...3,0. Режим электронатирирования: температура электролита на выходе из зоны осаждения 40...45 °С, плотность тока 60...80 А/дм², частота вращения детали 30...40 мин⁻¹, расход электролита 4...6 л/мин. Получаемый сплав содержит 8–10 % железа и имеет микротвердость 200...250 кгс/мм².

8.3. Сплавы меди

Сплав медь-цинк (латунь). Медно-цинковые сплавы применяют для увеличения прочности сцепления между сталью и резиной (при гуммировании) и для защитно-декоративных целей (при замене никелевых покрытий). Электролизом могут быть получены сплавы с разным содержанием меди и цинка. Их различают по цвету: латунь желтая, белая, серая и т.д. Латунирование может производиться в цианистых и нецианистых (щавелево-кислых, роданистых, тиосульфатных, пирофосфатных) электролитах. Наибольшее практическое

применение нашли цианистые. Так, для осаждения сплава, содержащего 70 % меди и 30% цинка (желтая латунь), рекомендуется следующая состав электролита, г/л:

- медь цианистая CuCN 26 – 40;
- цинк цианистый $\text{Zn}(\text{CN})_2$ 9 – 12;
- калий цианистый KCN 45 – 120;
- калий углекислый K_2CO_3 5 – 30;
- аммиак 25 %-ный, мл/л1 – 3.

Кислотность его $\text{pH}=10...11,5$, температура $25...45\text{ }^\circ\text{C}$. Рабочая катодная плотность тока $0,3...1,0\text{ А/дм}^2$. Применяемые аноды – латунь Л62, Л68. Сплав Cu-Zn может применяться для восстановления размеров втулок из цветных металлов.

Сплав медь-олово (бронза). В настоящее время практическое использование нашли бронзовые покрытия двух составов: содержащие 10...20 % олова (золотисто-желтые) и 40...45 % олова (белая бронза).

Покрытия, содержащие 15...20 % олова, отличаются малой пористостью. Они используются в качестве подслоя (вместо никеля и меди) при защитно-декоративном хромировании и как самостоятельные покрытия для защиты от коррозии при работе деталей в воде с температурой $90...100\text{ }^\circ\text{C}$. Например, бронзированию подвергают детали водяных насосов (пружины, шайбы, втулки) двигателей, которые работают в горячей воде.

Белая бронза хорошо полируется и отражает свет (коэффициент отражения у нее выше, чем у хрома). Она хорошо переносит атмосферные воздействия, имеет высокую твердость (в 5...6 раз выше твердости меди) и применяется для защитно-декоративных целей. Она имеет также низкий коэффициент трения со сталью, способна повышать контактную выносливость стали и пригодна для восстановления различных деталей.

Для осаждения бронзовых покрытий предложено большое число электролитов (цианистых, пиррофосфатных, фенолсульфоновых и т.д.). Белую бронзу рекомендуют наращивать из щелочно-цианистого электролита следующего состава, г/л:

- медь Cu 8 – 12;
- олово Sn 40 – 45;
- натрий едкий NaOH 8 – 20;
- калий цианистый KCN 8 – 15.

Температура электролита 60...65 °С, катодная плотность тока 1,5...3,0 А/дм². В качестве анодов используют листы бронзы, содержащие 62 % Cu и 38 % Sn. Такие аноды растворяются равномерно, пополняя электролит ионами обоих металлов.

Сплав медь-свинец. Сплавы меди со свинцом отличаются антифрикционностью – имеют хорошую прирабатываемость, низкий коэффициент трения в паре с металлом сопрягаемой детали, малую склонность к заеданию и высокую износостойкость. Они применяются для восстановления трущихся поверхностей подшипников скольжения. Для их электроосаждения используют цианистые, азотно-кислые, пирофосфатные и др. электролиты. Рекомендуемый состав азотно-кислого электролита, г/л:

- медь азотно-кислая $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 10 – 12;
- свинец азотно-кислый $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 100 – 300;
- калий азотно-кислый KNO_3 50;
- азотная кислота HNO_3 4 – 5.

Применяемая катодная плотность тока 0,75–1,0 А/дм². В получаемом сплаве содержится 28...30 % свинца.

8.4. Сплавы свинца

Сплав свинец-олово. Способ электролитического осаждения свинцово-оловянного сплава давно применяется в промышленности. Этот сплав применяют для защиты от коррозии и как антифрикционное покрытие. Сплав для коррозионной защиты содержит около 5 % олова. Сплав для антифрикционных целей содержит 8...17 % олова.

Наибольшее распространение эти сплавы получили как антифрикционные для восстановления вкладышей подшипников, залитых свинцовистой бронзой. Электролиты для наращивания сплава Pb-Sn весьма разнообразны. Перед электроосаждением сплава Pb-Sn на вкладыши производят декапирование в 7...10 %-ном растворе серной кислоты H_2SO_4 в течение 30...40 с.

Для покрытия вкладышей подшипников из свинцовистой бронзы свинцовооловянным сплавом широко применяется борофтористоводородный электролит, г/л:

- свинец борофтористо-водородный $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$50 – 60;
- олово борофтористо-водородное $\text{Sn}(\text{BF}_4)_2$ 4,5 – 11;
- желатин (клей столярный)1,0;

- кислота борофтористо-водородная HBF_4 100 – 140.
Температура электролита 18...25 °С, катодная плотность тока 1,5...2,0 А/дм². Аноды используются свинцовые. Корректирование электролита по содержанию олова производится периодической проработкой его с оловянными анодами.

Сплав свинец-олово-медь. Для восстановления вкладышей шатунных и коренных подшипников коленчатых валов рекомендуется тройной сплав Pb-Sn-Cu. Он имеет хорошую прирабатываемость, повышенную стойкость в среде минеральных масел (так же, как свинцово-оловянный сплав) и высокую антифрикционность. Рекомендуется для восстановления сталеалюминиевых вкладышей подшипников. Сплав Pb-Sn-Cu осаждают из фтороборатного электролита такого состава, г/л:

- свинец Pb 40 – 45;
- олово Sn 5 – 6;
- медь 0,4 – 0,8;
- кислота борофтористо-водородная HBF_4 до 200;
- клей столярный (желатин) 1,0.

Температура электролита комнатная, кислотность рН = 0,4...0,7. Катодная плотность тока 1,0...1,5 А/дм². Нарощенный на вкладыши сплав содержит: 90...93 % Pb, 6...9 % Sn и 0,75...2,0 % Cu. В качестве анодов используются пластины из сплава свинца (92,5 %) и олова (7,5 %).

Практики рекомендуют при восстановлении вкладышей подшипников коленчатых валов наращивать сплав, содержащий: 93...94,5 % свинца Pb, 0,5...1,0 % олова Sn и 5...6 % сурьмы Sb. Покрытие таким сплавом толщиной 20...30 мкм улучшает прирабатываемость и повышает коррозионную стойкость вкладышей.

Контрольные вопросы

1. Свойства и применение электролитических сплавов.
2. Объясните условия совместного выделения металлов.
3. Расскажите о применении сплавов на основе железа. Приведите примеры их использования.
4. Характеризуйте свойства сплавов на основе меди. Для каких целей они применяются?
5. Преимущества сплавов на основе свинца и особенности их наращивания.

9.1. Особенности конструкции гальванических ванн

Стационарные гальванические ванны в зависимости от назначения имеют различное конструктивное исполнение. Но тем не менее все они подразделяются на ванны без нагревательных устройств и с нагревательным устройством. Наиболее простыми по конструкции являются ванны, электролит которых не требует нагрева (процесс ведется при комнатной температуре). Более сложные в конструктивном исполнении являются ванны с нагревательными устройствами внутреннего или внешнего типа (рис. 28).

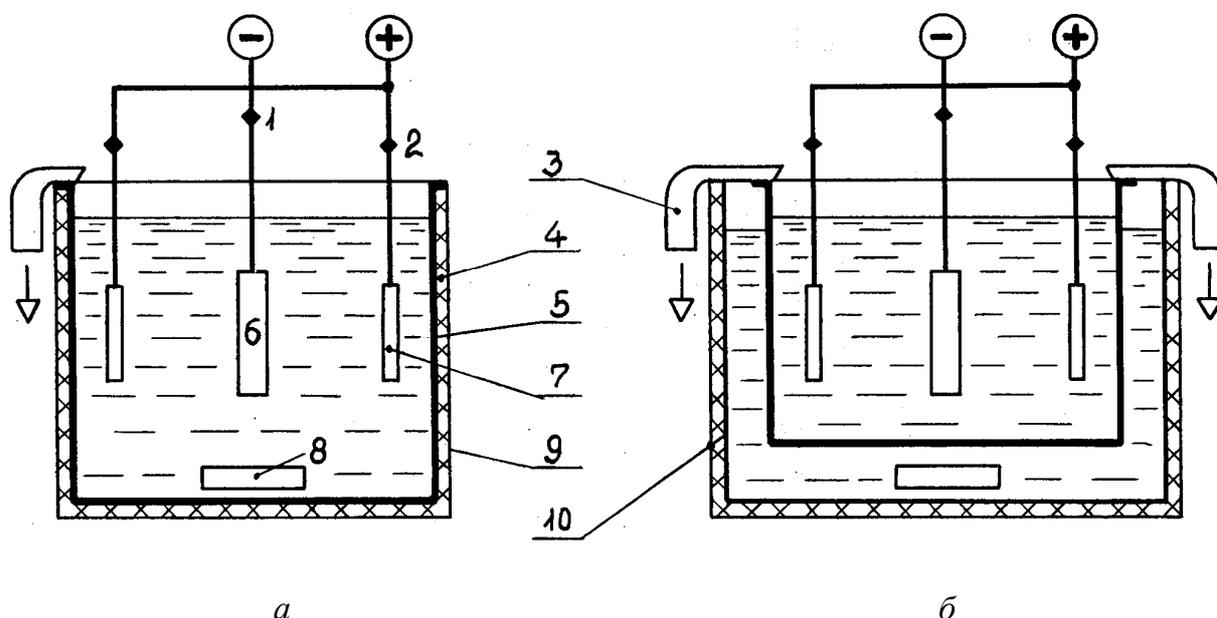


Рис. 28. Схема устройства стационарной гальванической ванны:
а – с внутренним нагревательным устройством; *б* – с внешним нагревательным устройством; 1 – катодная штанга; 2 – анодная штанга; 3 – бортовой вентиляционный кожух; 4 – теплоизоляционный слой; 5 – гальваническая ванна; 6 – катод (деталь); 7 – анод; 8 – нагревательный элемент; 9 – облицовка ванны; 10 – резервуар (кожух) ванны; → – направление отсоса паров и газов

Гальванические ванны, применяемые в авторемонтном производстве, обычно представляют собой прямоугольные резервуары, сваренные из листовой стали толщиной 3 – 5 мм и усиленные по бокам и углам каркасом из угловой стали (для предотвращения деформаций). Общесоюзного стандарта на размеры гальванических ванн в настоящее время не существует. Поэтому ремонтные предприятия используют ванны, размеры которых определяются формой и габари-

тами восстанавливаемых деталей, площадью их единовременной загрузки. При этом учитываются рекомендации, ранее разработанные НИИхиммашем и ЦКБ Тамбовского завода гальванического оборудования (прил. 9). Каждая ванна на верхней кромке должна иметь буртик.

Внутренняя поверхность ванн имеет футеровку (облицовку). Материал ее должен удовлетворять таким требованиям: он должен быть кислотостойким и неэлектропроводным, теплостойким и теплопроводным (особенно при внешнем нагревательном устройстве). В качестве материала для облицовки гальванических ванн используют: антегмитовые плитки марки АТМ-1 и диабазовые метлахские плитки на кислотоупорном цементе, винипласт, пластикат из перхлорвинило-вой смолы, резину и эбонит (гуммированные ванны), фаолит, полиэтилен, фторопласт, текстолит, органическое стекло и т.д. В каждом конкретном случае применение того или иного материала обуславливается агрессивностью электролита и типом нагревательного устройства (внутренний или внешний).

При внутреннем нагреве для футеровки ванн, работающих при температуре не более $+70^{\circ}\text{C}$, широко используется листовой винипласт (непластифицированный поливинилхлорид марок ВН, ВНЭ, ВП, ВД) толщиной 5...15 мм. В последнее время получили распространение бескаркасные гальванические ванны из армированного винипласта.

Внутренний нагрев ванн (рис. 28, а) производится паровым змеевиком с кислотостойкой оболочкой, трубчатыми электронагревателями (ТЭНами) в свинцовой оболочке, кварцевым нагревателем (спираль, помещенная в трубу из кварцевого стекла) и электролизным путем. Последний способ широко используется для нагрева ванн осталивания. При этом разогрев электролита происходит за счет выделения джоулева тепла при прохождении через него переменного тока от сварочного трансформатора.

При внешнем нагреве гальваническая ванна помещается (см. рис. 28, б) в резервуар (кожух). Пространство между ними заполняется теплоносителем (водой или минеральным маслом). Теплоноситель нагревается паровым змеевиком или трубчатыми электрическими нагревателями (ТЭНами) и равномерно разогревает весь объем электролита через стенки и дно ванны. Но энергетические затраты ввиду низкой теплопроводности облицовки гальванической ванны в этом случае много выше, чем при внутреннем нагревательном устройстве. На

рис. 29 изображена ванна с внешним электрическим нагревательным устройством.

Ванны с нагревательным устройством имеют по наружной поверхности теплоизоляционный слой. Теплоизоляционным материалом (минеральной ватой, асбестовым картоном или кварцевым песком) заполняют пространство между ванной (или ее кожухом) и облицовкой ванны (см. рис. 28). Теплоизоляция позволяет снизить теплотери в окружающую среду через стенки и дно ванны.

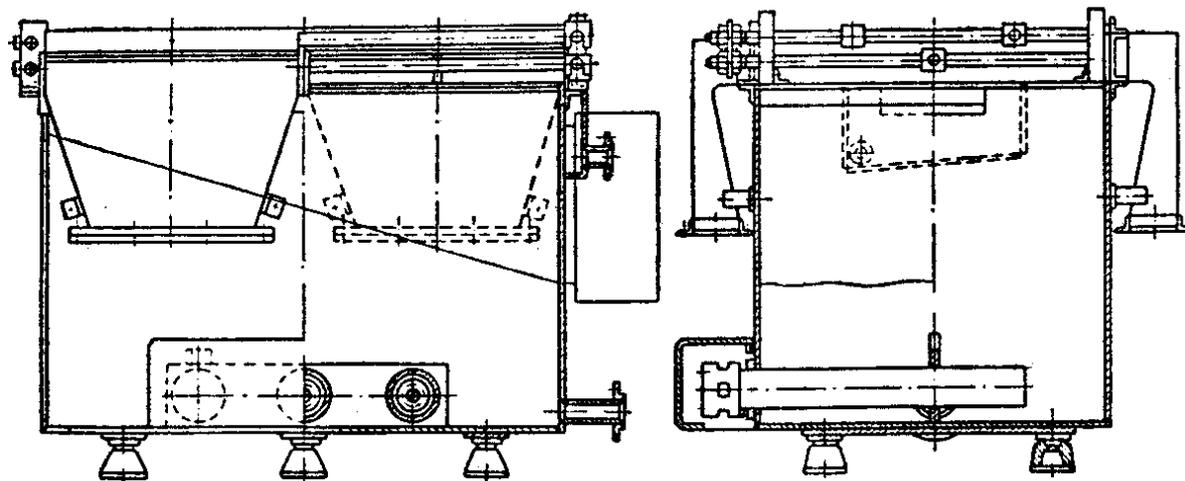


Рис. 29. Гальваническая ванна с внешним нагревательным устройством

Для подвода электрического тока к анодам и катодам на ванне устанавливают 2 или 3 анодные и 1 или 2 катодные штанги, которые присоединяются (шинами, кабелями) к источнику электрического питания соответствующих полюсов. В качестве их используют прутки или трубы из латуни и бронзы диаметром 15...25 мм. Штанги крепятся к буртику ванны на изоляторах (см. рис. 29).

Гальванические ванны, выделяющие вредные испарения (газы), снабжаются одно-, двухсторонними бортовыми вентиляционными кожухами. Односторонние отсосы разрешается применять при ширине ванны до 600 мм. Кожухи подсоединяются к магистральному вентиляционному каналу воздуховодами с дроссельными заслонками, позволяющими регулировать скорость и количество отсасываемого воздуха. Это обеспечивает хорошие санитарно-гигиенические условия труда.

Если процесс электроосаждения металла необходимо проводить при перемешивании электролита, то ванна укомплектовывается электромешалками или механическими вибраторами. Возможно также

применение воздушного перемешивания (пропускание сжатого воздуха через перфорированные трубки из винипласта, установленные на дне ванны).

Таким образом, любая гальваническая ванна – это сложное инженерное сооружение, имеющее: систему нагрева и токоподвод, бортовые вентиляционные кожухи, устройство для перемешивания электролита. Она может быть также снабжена системами автоматического поддержания температуры, уровня электролита, кислотности, катодной плотности тока. Она обязательно должна быть укомплектована источником электрического питания. Аппаратура контроля, управления и сигнализации закрепляется на щите управления, который устанавливается на стене около ванны.

Для примера на рис. 30 приведена структурная схема современной ванны осталивания.

Сама ванна представляет собой емкость из листового винипласта ВН5...10, армированного по наружной поверхности 8...10 слоями стеклоткани А-2 (А-1), пропитанной эпоксидной смолой ЭД-16,20 (или полиэфирной смолой ПН-3). Она имеет на верхней кромке буртик и наружную защитную облицовку в виде каркаса из угловой стали со стенками из шпунтованных досок хвойных пород или бакелизированной фанеры. Пространство между стенками ванны и облицовки заполнено минеральной ватой марки 100, а пространство между днищами – асбестовым картоном КАОН-5. Ванна снабжена двухсторонними бортовыми вентиляционными кожухами, обеспечивающими отсос паров воды и водорода от зеркала электролита вниз.

По системе нагрева электролита представленная ванна осталивания относится к ваннам с внутренним электролизным нагревом. Разогрев электролита до рабочей температуры происходит за счет выделения тепла при прохождении через электролит переменного электрического тока от сварочного трансформатора (ТД-500, ТДМ-401У2 и др.). К нему подключается 2 или 4 электрода нагрева, опущенные в электролит в диагонально противоположных углах ванны. Эти электроды имеют рабочую часть на нижних концах и позволяют осуществить "донный электролизный нагрев", который обеспечивает равномерность прогрева электролита по высоте ванны. Рабочей частью этих электродов является стержень из малоуглеродистой стали 08, 10, 20. При работе стержни постепенно растворяются (растворимый электрод), исключая образование в электролите ионов Fe^{+++} и способствуя проработке электролита в начале смены. Поддержание температуры в

заданных пределах (65...75 °С) производится по принципу двухпозиционных автоматических регуляторов: от датчика температуры t (см. рис. 30) информация поступает в блок регулирования $БУ2$, который выдает сигнал на подключение трансформатора $ТР$ к силовой однофазной сети (или отключение его).

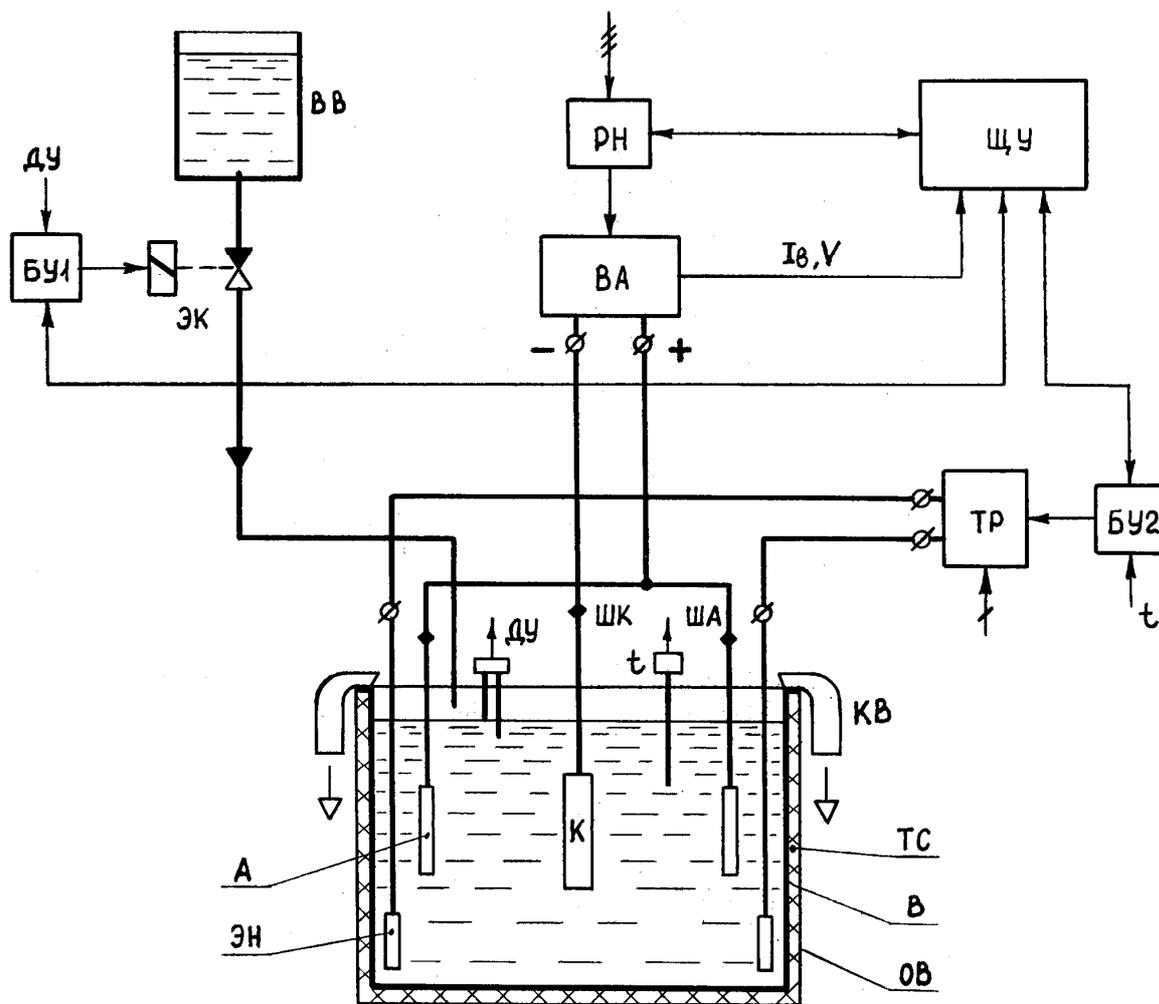


Рис. 30. Структурная схема ванны остиаливания: A – анод; $БУ1$ – блок поддержания уровня электролита; $БУ2$ – блок регулирования температуры; B – ванна; $ВА$ – выпрямительный агрегат; $ВВ$ – ванночка с подкисленной водой; $ДУ$ – датчик уровня электролита; K – катод; $КВ$ – кожух вентиляционный бортовой; $ОВ$ – облицовка ванны; $РН$ – регулятор напряжения; t – датчик температуры; $ТР$ – трансформатор сварочный; $ТС$ – теплоизоляционный слой; $ША$ – штанга анодная; $ШК$ – штанга катодная; $ЩУ$ – щит управления; $ЭК$ – электромагнитный клапан; $ЭН$ – электрод системы нагрева

В качестве датчика, задатчика и элемента сравнения чаще всего применяется ртутный стеклянный электроконтактный термометр типа ТК-100 (ТПК, ТК-6).

Электрическое питание ванны осуществляется от выпрямительного агрегата ВА (типа ВАС, ВАКГ и др.). Для обеспечения возможности изменения загрузки ванны по току на стороне высокого напряжения выпрямителя включается регулятор напряжения РН (вариатор). Он обеспечивает изменение тока питания ванны от нуля до рабочего значения.

Электрический ток подводится к анодам и катодам через две поперечные латунные штанги, закрепленные на буртике ванны в специальных изоляторах. Для подводки тока от источника питания к этим штангам применяют шины (медные, алюминиевые) или одножильный силовой кабель типов НРГ, ВРГ (сечением 120...300 мм²). На поперечные штанги устанавливаются продольные штанги: одна катодная и две анодные. Анодные штанги имеют свободное перемещение, что позволяет выдерживать наиболее целесообразное межэлектродное расстояние в каждом конкретном случае.

Для поддержания заданного уровня электролита рассматриваемая ванна оборудована системой стабилизации, работающей следующим образом (см. рис. 30). При понижении уровня информация от датчика *ДУ* поступает в блок управления *БУ1*, который выдает сигнал на открытие электромагнитного клапана *ЭК*. В результате в ванну осталивания начинает самотеком поступать дистиллированная подкисленная вода из ванночки *ВВ*. При достижении необходимого уровня блок *БУ1* срабатывает на закрытие клапана *ЭК*.

Управление работой ванны производится со щита управления *ЩУ*, который для удобства работы устанавливается на стене непосредственно около нее. На нем закрепляют светосигнальные устройства (АС44021УХЛ2 или АСРВ031У2) и кнопки управления (типа КЕ011У3) всеми системами ванны. На него также поступает информация (см. рис. 30) о напряжении *V* и величине тока электрического питания *I_в*, которые контролируются щитовыми приборами магнитоэлектрической системы (типа М309, М366 и т.д.) кл.1,0.

9.2. Электрическое питание гальванических ванн

Электрическое питание гальванических ванн может быть осуществлено в двух вариантах: индивидуальное, когда к источнику тока подключена одна ванна, или групповое, когда к источнику тока подключено параллельно несколько ванн. Электрическая схема индивидуального питания, наиболее распространенная в гальванических це-

хах, является простой и удобной для регулирования. В качестве источников питания ванн в настоящее время применяются выпрямительные агрегаты: селеновые типов ВСГ, ВСМР, ВУ; германиевые типа ВАГГ; кремниевые типов ВАС, ВАКГ; тиристорные типов ТЕ, ТЕР, ТВ, ТВР (к.п.д. их 70...90 %). Сравнительные характеристики их приведены в прил. 10.

Селеновые агрегаты хорошо противостоят кратковременным перегрузкам по току (напряжению) и не требуют сложной системы защиты. Но применение их для питания гальванических ванн в ряде случаев неэффективно, так как они имеют малый срок службы и низкий К П Д (менее 60 %).

Кремниевые и германиевые агрегаты не способны выдерживать значительные перегрузки по току (из-за высокой плотности тока в электронно-дырочном переходе) и чрезмерные напряжения. Особенно чувствительны к перегрузкам такого рода германиевые агрегаты. Причины перегрузок по току и напряжению могут быть как внутренними, так и внешними. К числу наиболее вероятных внешних причин перегрузок по току питания ванн следует отнести замыкание анодной и катодной штанг упавшей деталью или касание детали и анода внутри электролита. Эти же недостатки присущи тиристорным выпрямительным агрегатам.

Несмотря на то, что в конструкции выпрямительных агрегатов предусмотрены специальные защитные устройства, при завешивании подвесок с деталями в ванну и вынимании их из нее следует проявлять осторожность. На практике при анализе причин наращивания недоброкачественных покрытий обычно не обращают внимания на источник питания ванны. Между тем выход из строя одного из вентиля выпрямительного агрегата может быть причиной получения брака.

Основной причиной выхода из строя полупроводниковых агрегатов считается повышение температуры электронно-дырочного перехода вентиля выше допустимой. Поэтому в комплекте аппаратуры, составляющей современный выпрямительный агрегат, входят охлаждающие устройства (воздушные или жидкостные), обеспечивающие поддержание рабочей температуры этого перехода ниже предельно допустимой.

Рациональное расположение источников питания гальванических ванн представляет собой серьезную и достаточно сложную задачу. Сложность вопроса усугубляется необходимостью обезопасить их от разрушающего действия агрессивной среды гальванического уча-

стка. Возможны такие варианты их расположения: на антресолях в участке или вне его, непосредственно около ванн, в отдельном помещении и в подвале. Наиболее оптимальными вариантами следует считать установку выпрямительных агрегатов непосредственно около ванн и на антресолях, расположенных с противоположной стороны стены участка, вдоль которой смонтированы ванны.

Установка выпрямительного агрегата непосредственно около ванны не требует прокладки шин, чем достигается экономия цветного металла и уменьшение потерь электрической энергии. Однако возможность такого варианта установки выпрямителя определяется особенностями его конструкции. Так, селеновые агрегаты очень чувствительны к коррозионной атмосфере и заводская инструкция по эксплуатации не разрешает установку и работу агрегатов этого типа (ВСГ, ВУ) в помещениях, воздух которых содержит большое количество паров кислот и щелочей при высокой влажности. Непосредственно около ванн можно устанавливать только выпрямители типа ВСМР, так как их силовой селеновый блок помещен в герметизированную масляную ванну.

Кремниевые, германиевые, тиристорные блоки выпрямительных агрегатов типов ВАГГ, ВАКГ, ТЕ, ТВ заключены в герметичный металлический корпус и заводы-изготовители разрешают установку их в гальваническом цехе в местах, удаленных от непосредственного попадания брызг электролита, при условии если в охлаждающем воздухе отсутствуют примеси, вызывающие коррозию. Однако подвод охлаждающего воздуха из наружной атмосферы иногда требует прокладки длинных воздухопроводов. Кроме этого, работа вентиляторов, подающих воздух для охлаждения выпрямительных блоков, создает повышенный шум.

Загрузка гальванической ванны по току I_6 , определяемая по формулам (15), (16), (17), изменяется в больших пределах. Это изменение обусловлено: широкой номенклатурой восстанавливаемых деталей; изменением площади покрытия деталей, одновременно загружаемых в ванну S_6 ; различной катодной (анодной) плотностью тока; ступенчатой загрузкой деталей в ванну и специфическими условиями выхода на рабочий режим (см. п. 4.4). На практике в каждом конкретном случае загрузка ванн по току различная, диапазон ее изменения достаточно широк (рис. 31). Это обстоятельство предъявляет к системе электрического питания следующее требование: возможность плавно изменять загрузку ванны по току от нулевого до 100 %

номинального I_n значения силы тока выпрямительного агрегата.

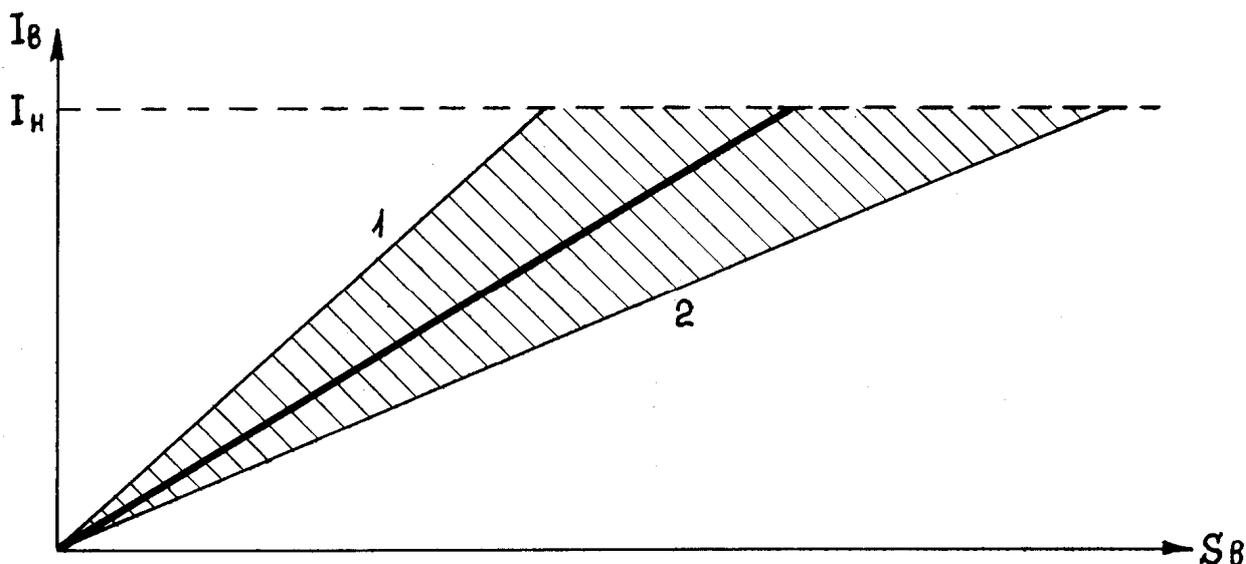


Рис. 31. Изменение тока электрического питания гальванических ванн: 1 – при максимальных плотностях тока; 2 – при минимальных плотностях тока; I_n – номинальная сила тока выпрямительного агрегата

Перечисленные выше источники тока (кроме тиристорных) этому требованию в полной мере не удовлетворяют. Хотя в конструкциях некоторых агрегатов (ВАКГ, ВАГГ, ВСРМ) предусмотрены устройства, обеспечивающие регулирование тока питания ванн, но в ограниченных пределах (от 25 до 100 % номинального значения). Поэтому в схему электрического питания гальванической ванны от полупроводникового выпрямителя необходимо включать дополнительные регулировочные устройства. Основной и наиболее распространенный способ регулирования загрузки ванны по току состоит в изменении подводимого к ней напряжения.

Регулирование напряжения на штангах ванны возможно осуществить (рис. 32):

а) реостатом с параллельными секциями (рубильникового типа), включенными последовательно с ванной;

б) вариатором типа РНО (РНТ) или АОСК (АТСК), включенным на стороне высокого напряжения;

в) магнитным усилителем типа РУО (РУТ) или УМЗП;

г) тиристорным регулятором типа РНТО (РНТТ).

Рубильниковые реостаты не всегда обеспечивают поддержание заданной плотности тока, особенно в период "разгона" тока. Стремление обеспечить более плавное регулирование загрузки ванны приводит к неоправданному увеличению количества секций.

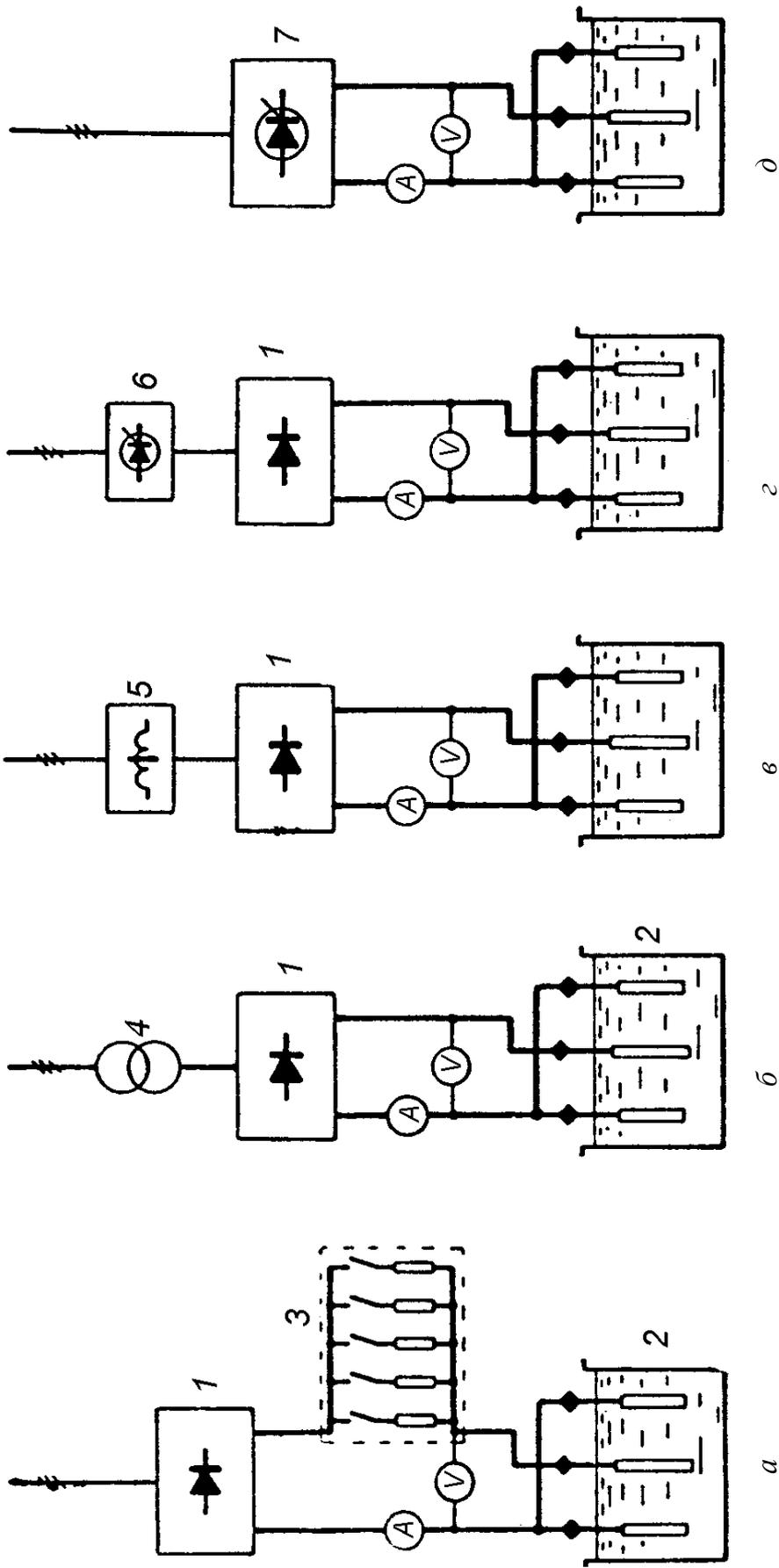


Рис. 32. Схемы электрического питания гальванических ванн. Напряжение на штангах ванны регулируется: а – реостатом с параллельными секциями; б – вариатором; в – магнитным усилителем; г – магнитным усилителем; д – схемой электрического питания ванны от выпрямительного агрегата на тиристорах; 1 – полупроводниковый выпрямительный агрегат; 2 – гальваническая ванна; 3 – реостат с параллельными секциями; 4 – вариатор; 5 – магнитный усилитель; 6 – тиристорный регулятор напряжения; 7 – выпрямительный агрегат на тиристорах

Коррозия открытых контактов, большие потери электрической энергии на нагрев сопротивлений, трудность поддержания заданной катодной плотности тока говорят о нецелесообразности применения рубильниковых реостатов.

Включение вариаторов типа РНО (РНТ) на стороне высокого напряжения выпрямителей позволяет плавно регулировать загрузку ванны по току. Отсутствие на этих вариаторах дистанционных управляющих устройств вызывает необходимость установки их непосредственно около ванн.

Учитывая разрушающее действие агрессивной среды цеха на скользящие контакты, предпочтительно применять вариаторы в герметичном исполнении с масляным охлаждением (примером могут служить РНО-250-10, РНТ-220-12). Регулирование тока посредством изменения входного переменного напряжения более экономично, так как при этом нет потерь мощности на нагрев сопротивлений реостата.

Магнитные усилители типа РУО (РУТ), серийно выпускаемые промышленностью как регуляторы напряжений для электропечей сопротивления, имеют удовлетворительные энергетические показатели, но они сложны и при широком диапазоне регулирования выходного напряжения слишком громоздки (табл. 8). Отсутствие контактного устройства делает этот способ более надежным в условиях гальванического участка.

Таблица 8

Технические параметры регуляторов напряжения

Тип регулятора	Нпря- жение, В	Наиболь- ший ток нагрузки, А	Мощ- ность, кВт	Габариты, мм	Мас- са, кг
Вариаторы: РНО-250-10	220	20/32	10	400x317x540	62
РНТ-220-12	220	24/32	12	515x453x540	100
Магнитные усили- тели: РУО-14-2	220	64	10	705x905x1400	285
РУТ-3x5-3	380	23	11,5	705x1305x1220	380
Тиристорные регу- ляторы: РНТО-190-63	220	63	12	210x190x230	14
РНТО-190-600	220	600	114	215x260x340	16
РНТТ-190-63	380	63	36	670x620x470	50

В настоящее время в силовой полупроводниковой технике все шире используют тиристоры (управляемые полупроводниковые вентили). На их основе промышленностью освоен выпуск тиристорных регуляторов напряжения типа РНТО (РНТТ). Эти регуляторы при небольших габаритах и массе и невысокой стоимости обеспечивают плавное бесконтактное изменение напряжения от 0 до 100 %. Способ регулирования загрузки ванны по току тиристорным регулятором, установленным на стороне высокого напряжения выпрямителя, сочетает простые конструктивные решения с хорошими габаритными и энергетическими показателями.

Производство тиристоров на большие токи (500 А и более) позволило создать эффективные регулируемые источники питания для гальванических ванн (КПД 0,9 – 0,95). В настоящее время освоен выпуск выпрямительных агрегатов типов ТВ, ТЕ, ТРВ и т.д. Тиристорные агрегаты отличаются простотой обслуживания, имеют меньшие габариты и массу по сравнению с германиевыми и кремниевыми агрегатами, не требуют дополнительных регулировочных устройств (см. рис. 32), стойки к коротким замыканиям и обладают широким диапазоном регулирования выходного напряжения (от нуля до 100 %). Поэтому они являются весьма перспективными источниками питания гальванических ванн.

9.3. Вспомогательные ванны

К вспомогательному оборудованию гальванического участка относятся промывочные ванны, ванны химико-механического обезжиривания, стеллажи, этажерки, ванны для обработки деталей до (и после) наращивания металла и пр.

Промывка в воде производится для удаления с деталей растворов, оставшихся на их поверхности после процесса химической или электрохимической обработки. Выше была указана необходимость периодической или непрерывной замены воды в промывочных ваннах (см. п. 2.5.4). Если периодическая замена теплой воды не вызывает конструктивных затруднений, то непрерывная замена холодной воды усложняет конструкцию промывочной ванны, которая определяется способом промывки деталей. В настоящее время применяют одно-, двух-, трехступенчатую схемы промывка холодной водой (рис. 33).

Двух- и трехступенчатые схемы промывки могут быть прямоточными и противоточными. При прямоточной промывке подача во-

ды в ванну и движение деталей производится в одном направлении. При противоточной промывке вода подается в конечную ступень промывки и направление движения воды – навстречу движению деталей (см. рис. 33, б, в). Наиболее рациональной схемой промывки холодной водой является трехступенчатая противоточная промывка (неоднократное погружение деталей в проточную воду каждой ступени промывки). Применение этого способа обеспечивает при кратковременной промывке полное удаление с деталей и подвесных приспособлений остатков электролита и других технологических растворов (анодного травления, обезжиривания и т.п.). При этом объемный расход воды снижается в несколько раз.

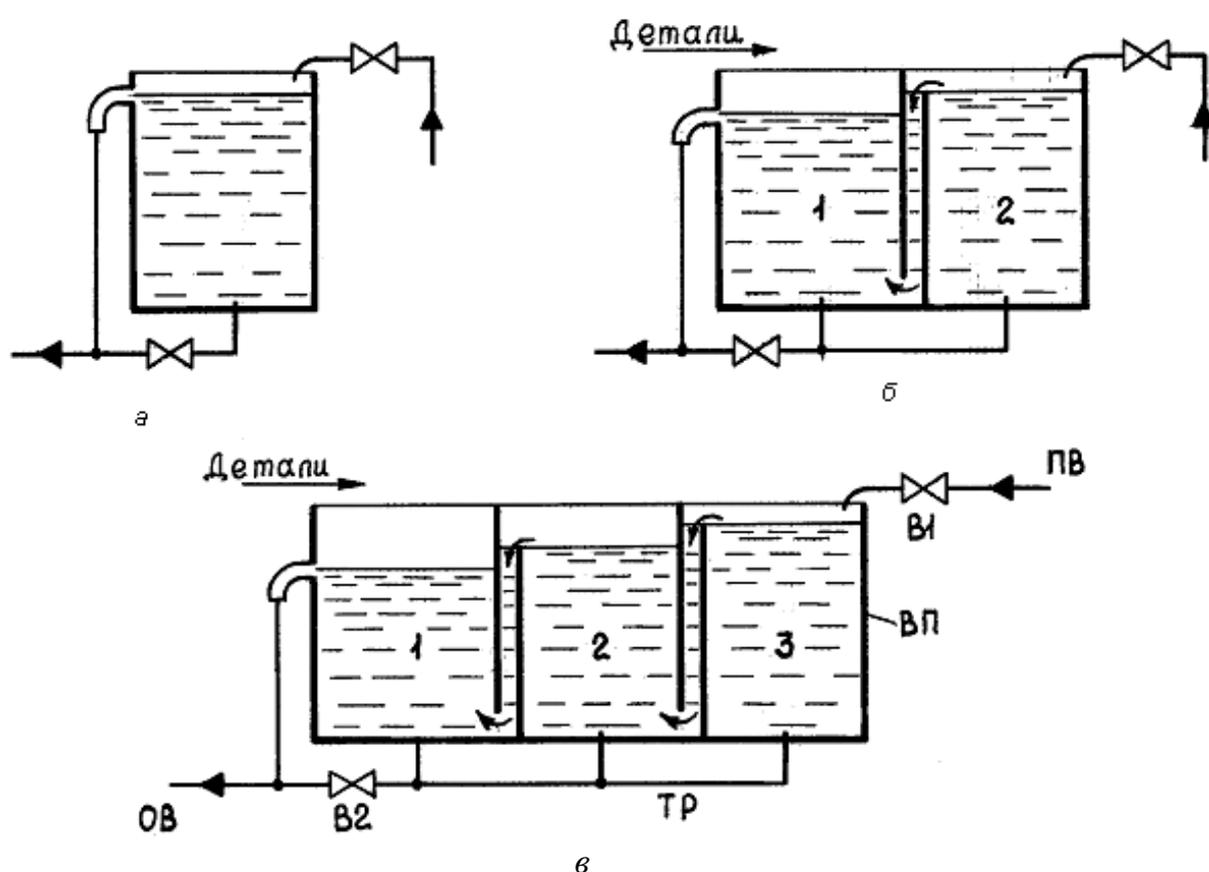


Рис. 33. Схемы промывки деталей: а – одноступенчатая; б – двухступенчатая; в – трехступенчатая; 1, 2, 3 – ступени промывки; В1, В2 – вентили; ВП – ванна промывки; ОВ – отвод воды в канализацию; ПВ – подвод воды; ТР – трубопровод

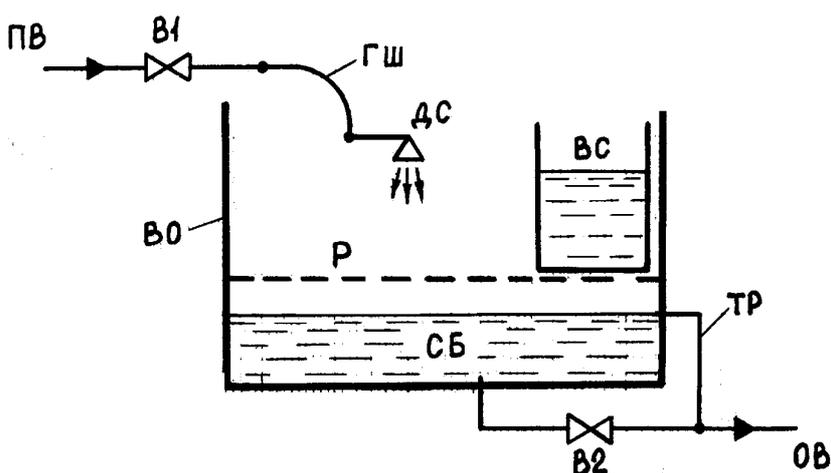
Ванны промывки холодной водой обычно представляют собой резервуар прямоугольной формы, разделенный перегородками на секции. Изготавливают его из листовой стали или винипласта. Внут-

ренную поверхность стальных ванн для предотвращения загрязнения воды продуктами коррозии покрывают листовой резиной (гуммируют). Предпочтительной конструкцией считают ванны из армированного винипласта. Изготовление ее технологически менее трудоемко, чем стальной гуммированной ванны. Каждая ванна оснащается сливным карманом (переливным устройством) в первой секции, нижними штуцерами для полного слива воды из всех секций и трубопроводной системой.

Непрерывная подача холодной воды производится во вторую или третью секцию (см. рис. 33, б, в), откуда она самотеком перетекает в первую (или во вторую, затем первую) секцию. Постоянный проток воды способствует выносу загрязнений и обеспечивает достаточную чистоту воды. Для улучшения промывки применяют также воздушные барботеры и душирующие устройства.

Особенность выполнения операции "химико-механическое обезжиривание" состоит в том, что при протирке волосяной кистью восстанавливаемых поверхностей деталей происходит разбрызгивание обезжиривающей смеси. Это загрязняет оборудование и производственную площадь гальванического участка. Избежать этого возможно выполнением данной операции в специальной ванне химико-механического обезжиривания, имеющей многоцелевое назначение. Она представляет собой стальной гуммированный или винипластовый резервуар ВО, внутри которого имеется решетка Р (рис. 34).

Рис. 34. Схема ванны химико-механического обезжиривания: В1, В2 – вентили; ВО – ванна обезжиривания; ВС – ванночка с обезжиривающей смесью; ГШ – гибкий шланг; ДС – душевая сетка; ОВ – отвод воды; ПВ – подвод воды; Р – решетка; СБ – сборник обезжиривающей смеси; ТР – трубопровод



На решетку ставится ванночка с обезжиривающей смесью ВС. При работе подвеска с деталями устанавливается на решетку. Волосяной кистью из ванночки ВС берется обезжиривающая смесь (см. п.

2.5.1.) и ей протираются восстанавливаемые поверхности. Смесь смывается с деталей и подвесного приспособления холодной водой при помощи душевой сетки *ДС* на гибком шланге *ГШ*. Излишек воды отводится через переливной патрубок. Для предотвращения закупорки канализации обезжиривающей смесью ванна имеет несливаемую емкость *СБ*, в которой накапливается, оседая на дно, смываемая с деталей обезжиривающая смесь. По мере накопления ее вручную удаляют и используют повторно.

9.4. Подвесные приспособления

В колокольные и барабанные ванны мелкие детали загружаются россыпью. При подготовке их к наращиванию покрытий используют корзины из стальной сетки или перфорированного кислотостойкого материала.

В стационарные же ванны крупные детали завешиваются на специальных подвесных приспособлениях, которые по числу закрепляемых на них деталей подразделяются на индивидуальные (одноместные) и групповые (рис. 35). Эти же приспособления (подвески) используются для транспортировки деталей по ходу технологического процесса. Одноместные подвески (см. рис. 35) применяют для деталей, поступающих в ремонт единичными экземплярами или имеющих большие габариты и вес.

При серийном производстве используют групповые подвески, рассчитанные на одновременную обработку нескольких однотипных деталей (рис. 36). Они обеспечивают значительное повышение производительности труда и большой экономический эффект.

Конструкции подвесных приспособлений весьма разнообразны и зависят от: конфигурации, габаритов, формы деталей, возможности их закрепления, размеров гальванической ванны и количества устанавливаемых деталей. В общем случае они должны удовлетворять следующим требованиям:

- а) обеспечивать получение равномерного по толщине покрытия и свободное удаление водорода с покрываемых поверхностей;
- б) не допускать экранирования деталей между собой и отдельных их участков;
- в) хорошо проводить электрический ток (токопроводящие детали подвески должны соединяться между собой сваркой, винтами, болтами или заклепками);

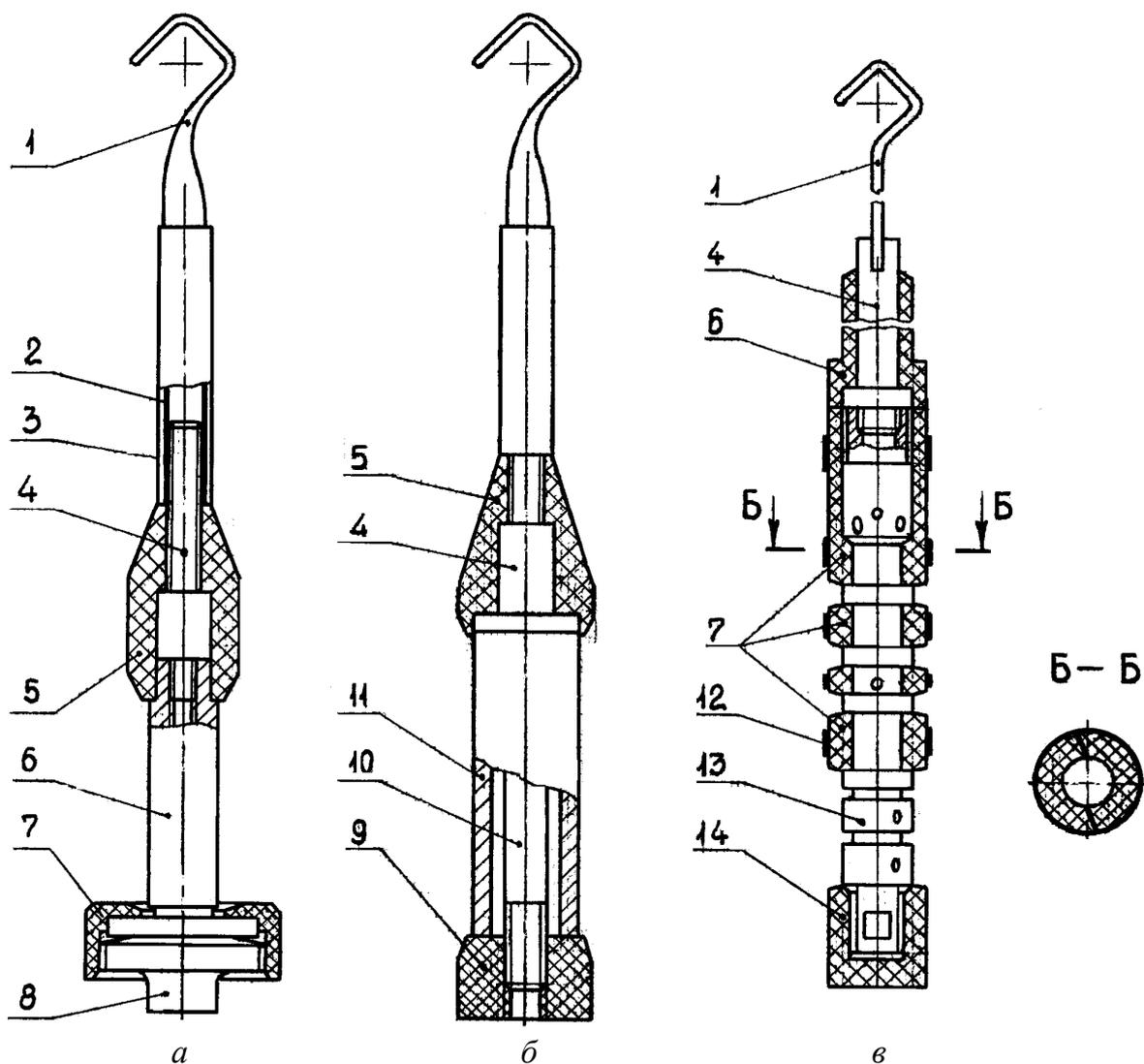


Рис. 35. Одноместные подвески для наращивания гальванических покрытий на: *а* – толкатель клапана; *б* – поршневой палец; *в* – золотник гидрораспределителя Р75-ВЗ. 1 – контактный крючок (медь); 2 – трубка медная; 3 – трубка полихлорвиниловая (резиновая); 4 – стержень контактный (сталь); 5 – втулка эбонитовая; 6 – толкатель; 7 – защитный экран; 8 – пробка резьбовая (эбонит); 9 – гайка текстолитовая; 10 – стержень стяжной; 11 – палец поршневой; 12 – стяжное кольцо (резина); 13 – золотник; 14 – защитный колпачок (резина)

- г) обеспечивать надежный контакт с деталями и штангами ванны;
- д) гарантировать прочное закрепление деталей, удобство и быстроту их монтажа (демонтажа);
- е) быть простыми в изготовлении и иметь надежную изоляцию;
- ж) обеспечивать правильное расположение деталей по глубине ванны;

з) удовлетворять условиям полного стекания остатков электролита и последующей качественной промывки водой.

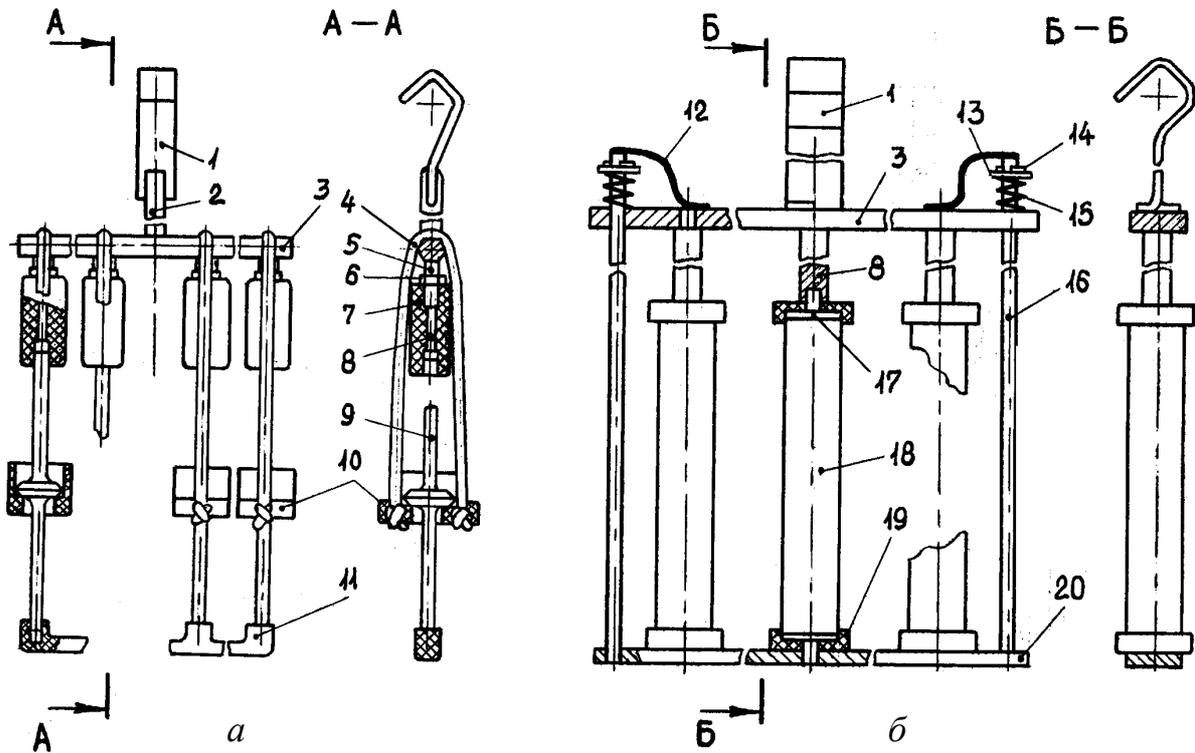


Рис. 36. Групповые подвески для наращивания гальванических покрытий на: *а* – стержни клапанов; *б* – шкворни. 1 – контактный крючок; 2 – удлинитель крючка; 3, 20 – траверса (верхняя, нижняя); 4 – стяжное кольцо (резина); 5 – переходник (сталь); 6 – гайка; 7 – втулка текстолитовая; 8 – контактный стержень; 9 – клапан; 10 – кожух экранирующий; 11 – траверса изоляционная; 12 – провод гибкий; 13 – шайба; 14 – шплинт; 15 – пружина; 16 – стержень стяжной; 17 – контактный наконечник; 18 – шкворень; 19 – шайба изоляционная

При монтаже деталей в подвесное приспособление должен обеспечиваться надежный электрический контакт "подвеска-деталь". Этот контакт зависит от способа закрепления. Для крепления деталей на подвеске используют их резьбовые и сквозные отверстия, резьбовые концы (см. рис. 35). Если нет таких элементов, то деталь закрепляют в подвеске с помощью стяжных резиновых колец, пружин (цилиндрических, кручения, пластинчатых). В этих случаях для надежного выполнения токоподводом своих функций необходимо обеспечить давление в месте контакта не менее $0,5 \text{ кгс/см}^2$. Причем к деталям с большой восстанавливаемой поверхностью желательно предусматривать токоподвод с двух концов (см. рис. 36, б).

На каждой подвеске в верхней части предусматривают один или два контактных крючка для завешивания на штангу ванны. Предпочтительными являются крючки прямоугольной формы, которая обеспечивает двухсторонний линейный контакт со штангой ванны, имеющий малое переходное сопротивление.

Подвески изготавливают из стали (круг, полоса), а контактные крючки – из медной полосы. Площадь поперечного сечения их должна быть такой, чтобы плотность электрического тока не превышала: для стали – $0,5 \dots 1,0 \text{ А/мм}^2$, для меди – $2,0 \dots 2,5 \text{ А/мм}^2$. Для снижения непроизводительного расхода наращиваемого металла и электроэнергии все токоведущие части подвесного приспособления, за исключением мест контактов, изолируют от действия электролита и электрического тока. Особое внимание при этом уделяют изоляции мест соединения токопроводящих деталей подвески. Способы изоляции и применяемые для этого материалы см. п. 2.5.1. Контактные же поверхности должны всегда содержаться в чистоте. Поэтому их периодически очищают от наростов металла и продуктов коррозии.

Контрольные вопросы

1. Каким требованиям должен удовлетворять материал гальванической ванны?
2. Расскажите о способах нагрева электролита.
3. Характеризуйте тип и конструкцию применяемых гальванических ванн.
4. Изобразите структурную схему ванны осталивания и поясните функции ее отдельных элементов.
5. Перечислите источники питания гальванических ванн и поясните, где их желательно устанавливать.
6. Какими способами изменяется загрузка гальванической ванны по току?
7. Расскажите о способах промывки деталей холодной водой.
8. В чем заключаются преимущества противоточной трехстадийной промывки и как она реализуется на практике?
9. Объясните конструкцию ванны химико-механического обезжиривания и особенности выполнения этой операции.
10. Какие типы подвесных приспособлений используются для восстановления деталей?
11. Перечислите способы крепления деталей в подвесках.
12. Какие требования предъявляются к подвесным приспособлениям?
13. Как изолируются детали подвесок от действия электрического тока и электролита?
14. Как производится отсос вредных испарений от гальванической ванны?
15. Какие приборы устанавливаются на щите управления гальванической ванной?

Глава 10. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ УЧАСТКОВ

10.1. Нормирование гальванических работ

Техническое нормирование труда – составная часть организации производства. Оно позволяет выявить внутренние резервы предприятия, повысить производительность труда и снизить себестоимость восстановления деталей. Процессы наращивания изношенных поверхностей деталей электрохимическими методами имеют специфический характер: длительное время электролиза, возможность электроосаждения металла одновременно на большое количество деталей, обслуживание одним рабочим или бригадой нескольких ванн, наличие в технологии вспомогательных (подготовительных и завершающих) работ перед загрузкой и после выгрузки деталей из основной ванны. Ввиду этого расчет технических норм времени при гальванических работах имеет свои особенности.

Основное время τ_o – продолжительность электронаращивания необходимой толщины металла рассчитывают по формуле (14).

Вспомогательное время τ_e – время, затрачиваемое рабочим на действия, обеспечивающие возможность выполнения основной работы. Это время принимают по нормативам, приведенным в специальных справочниках. Сумма $\tau_o + \tau_e = \tau_{on}$ называется оперативным временем.

Время обслуживания рабочего места $\tau_{обс}$ – время, затрачиваемое на организационно-техническое обслуживание рабочего места, на отдых и естественные надобности. Сумма $\tau_{on} + \tau_{обс} = \tau_{шт}$ называется штучным временем.

Подготовительно-заключительное время $\tau_{нз}$ – время, необходимое для ознакомления с работой, подготовки к этой работе, получения и сдачи работы, наладки оборудования, подбора оснастки и оформления необходимой документации.

Время $\tau_{обс}$ и $\tau_{нз}$ при гальванических работах принимается в процентах от основного времени и включается в состав штучно-калькуляционного времени надбавочным коэффициентом $k_1 = 1,18$.

Из анализа технологии восстановления деталей гальваническими покрытиями следует, что одна часть вспомогательных операций выполняется независимо от работы гальванической ванны, а вторая их часть непосредственно связана с работой гальванической ванны.

Поэтому вспомогательное, а соответственно и оперативное, время на подготовительные и заключительные операции подразделяют на перекрываемое и неперекрываемое.

Неперекрываемое оперативное время $\tau_{on.n}$ – это время, которое затрачивается на выполнение операций, непосредственно связанных с основной (нанесением покрытия), т.е. операций, которые не могут быть выполнены во время работы основной ванны.

Многие подготовительные и заключительные операции непосредственно не связаны с основной операцией и могут быть выполнены во время наращивания металла. Время, затрачиваемое на их выполнение, называется оперативным перекрываемым временем $\tau_{on.n}$.

Обычно техническую норму времени при выполнении гальванических работ устанавливают на весь технологический процесс в целом, а не на каждую операцию. При этом учитывают величину перекрываемого и неперекрываемого времени. Распределение τ_{on} при работе на одной гальванической ванне приведено в табл. 9.

При расчете себестоимости восстановления деталей пользуются нормой штучно-калькуляционного времени $\tau_{шт.к.}$. В условиях гальванических работ эта норма рассчитывается по одному из трех, рассмотренных ниже, соотношений между τ_o и суммой $\tau_{on.n}$.

Соотношение 1: $\tau_o = \sum \tau_{on.n}$. В этом случае штучно-калькуляционное время на восстановление одной детали определяют по формуле

$$\tau_{шт.к.} = \frac{\tau_o + \sum \tau_{on.n}}{n_d \cdot k_u} \cdot k_1, \quad (28)$$

где n_d – количество деталей, одновременно загружаемых в гальваническую ванну; k_u – коэффициент использования ванны, $k_u = 0,75-0,85$.

Соотношение 2: $\tau_o > \sum \tau_{on.n}$. В этом случае часть основного времени расходуется на обслуживание первой гальванической ванны, а оставшаяся часть основного времени ($\tau_o - \sum \tau_{on.n}$) – на обслуживание второй ванны. Количество ванн, обслуживаемых одним рабочим равно

$$X = \frac{\tau_o - \sum \tau_{on.n}}{\sum \tau_{on.n}} + 1. \quad (29)$$

Штучно-калькуляционное время на одну деталь определяется в этом случае из следующего выражения:

**Распределение оперативного времени технологии
наращивания гальванических покрытий**

Содержание операций	Износостойкое хромирование		Твердое осталивание	
	$\tau_{оп.п}$	$\tau_{оп.п}$	$\tau_{оп.п}$	$\tau_{оп.п}$
1	2	3	4	5
Очистить детали от нагара, ржавчины, смолистых и лаковых отложений, протереть ветошью	+	–	+	–
Удалить на деталях заусенцы, зачистить задиры, обработать восстанавливаемые поверхности шлифовальной шкуркой, протереть ветошью	+	–	+	–
Промыть детали в бензине, протереть ветошью	+	–	+	–
Закрепить детали в подвесном приспособлении, изолировать места, не подлежащие покрытию	+	–	+	–
Протереть поверхности, подлежащие восстановлению, обезжиривающей смесью, промыть струей холодной воды	+	–	+	–
Завешать подвеску с деталями в ванну электрохимического обезжиривания, обезжирить восстанавливаемые поверхности	–	+	–	+
Вынуть подвеску с деталями из ванны электрохимического обезжиривания, промыть теплой и ополоснуть холодной водой	–	+	–	+
Очистить аноды, промыть их холодной водой и завешать в гальваническую ванну	+	–	+	–
Произвести анодное травление деталей, промыть их в холодной и прогреть в теплой воде	–	+	–	+
Завешать подвеску с деталями в гальваническую ванну, выдержать без тока, произвести разгон тока (или декапирование), выдержать детали в ванне до получения осадка необходимой толщины	–	+	–	+
Выгрузить детали из ванны, промыть в теплой и ополоснуть холодной водой	–	+	–	+
Выдержать подвеску с деталями в нейтрализующем растворе, промыть холодной водой	+	–	+	–
Вынуть из гальванической ванны аноды, очистить их и промыть струей холодной воды	–	+	–	+

1	2	3	4	5
Снять детали с подвешного приспособления, снять с деталей защитную изоляцию	+	–	+	–
Протереть детали ветошью насухо, проверить качество покрытия на восстанавливаемых поверхностях	+	–	+	–

$$\tau_{шт.к} = \frac{\tau_o + \sum \tau_{оп.н}}{n_{\partial} \cdot K_u \cdot X} \cdot K_1 K_2, \quad (30)$$

где K_2 —коэффициент, учитывающий количество обслуживаемых ванн (при $X=2\dots 4$ $K_2 = 1,1\dots 1,25$).

Соотношение 3: $\tau_o < \sum \tau_{оп.н}$. В этом случае для обеспечения работы гальванической ванны необходимое количество рабочих (чел.) равно

$$m = \frac{\sum \tau_{оп.н} + \sum \tau_{оп.н}}{\tau_o + \sum \tau_{оп.н}} \quad (31)$$

Расчетное количество рабочих в бригаде округляют до целого числа. Штучно-калькуляционное время на одну деталь определяют в этом случае по формуле

$$\tau_{шт.к} = \frac{\sum \tau_{оп.н} + \sum \tau_{оп.н}}{n_{\partial} \cdot K_u} \cdot K_1. \quad (32)$$

10.2. Проектирование гальванических участков

10.2.1. Исходные данные для расчета

Разработка гальванического участка производится в следующей последовательности. Сначала формулируют назначение участка, составляют перечень восстанавливаемых деталей (указывая их материал, величину износа, площадь покрытия и годовую потребность). Обосновывают выбор электролитических покрытий.

Затем разрабатывают технологические процессы наращивания каждого вида покрытия, представляющие собой перечень последовательно выполняемых операций. При этом дается подробное описание каждой операции с указанием оборудования, используемых приспособ-

соблений и инструмента, применяемых растворов (электролитов), режимов выполнения.

Применительно к разрабатываемому участку составляют основные нормативы трудового законодательства (табл. 10).

Таблица 10

Нормативы трудового законодательства

Наименование	Характеристика
Профессия рабочего	Гальваник
Разряд работы	III, IV
Длительность смены	6 ч
Продолжительность рабочей недели	Не более 36 ч
Длительность основного отпуска	28 дней
Дополнительный отпуск	8 дней
Условия работы	Вредные
Степень опасности поражения электрическим током	Повышенная

Затем составляют исходные данные для расчета гальванического участка (табл. 11).

Таблица 11

Исходные данные

Наименование	Величина (обозначение)
Количество смен работы участка	1–2
Номинальный годовой фонд времени рабочего	1836 ч
Действительный годовой фонд времени работы гальванических ванн	1652–3304
Суммарная площадь покрытия деталей (годовая производственная программа)	F , дм ²
Средняя толщина наращиваемого слоя металла	δ_c , мм
Поверхность покрытия одновременно загружаемой в гальваническую ванну партии деталей	S_b , дм ²

10.2.2. Технологический расчет

Гальванический участок по методу расчета относится к цехам третьего класса, для которых годовая производственная программа задается суммарной площадью поверхностей деталей, подлежащих обработке (F , дм²). Эта программа может быть определена двумя ме-

тодами: по номенклатуре восстанавливаемых деталей с учетом коэффициента ремонта или по укрупненным (ориентировочным) показателям площади покрытия на автомобиль (агрегат).

Годовая производственная программа по первому методу равна

$$F = N \sum_1^i S_i n_i K_{pi} , \quad (33)$$

где N – программа по ремонту автомобилей или его составных частей; S_i – площадь покрытия одной детали; n_i – количество одноименных деталей на автомобиле (агрегате); K_{pi} – коэффициент ремонта детали.

Производственная программа по укрупненным показателям рассчитывается по формуле

$$F = N \cdot f , \quad (34)$$

где f – удельная площадь данного вида электролитического покрытия на автомобиль или его составную часть (прил. 11,12).

Годовой объем работ участка T_z зависит от производственной программы F , времени на наращивание покрытия и рассчитывается по выражению

$$T_z = \frac{\tau_{шт} \cdot F}{60 \cdot S_v} , \quad (35)$$

где $\tau_{шт}$ – штучное время (см. п. 10.1).

При расчете гальванического участка штучное время определяют по формуле

$$\tau_{шт} = (\tau_o + \tau_{вн}) \cdot K_1 , \quad (36)$$

где $\tau_{вн}$ – вспомогательное неперекрываемое время (см. табл. 9).

При этом основное время рассчитывают по средней толщине наращиваемого слоя металла (см. табл. 11).

Явочное количество производственных рабочих равно

$$m_{я} = \frac{T_z}{T_{фн} \cdot \eta_{мо}} , \quad (37)$$

где $T_{фн}$ – номинальный годовой фонд времени рабочего (см. табл. 11); $\eta_{мо}$ – коэффициент, учитывающий многованное обслуживание (прил. 13).

К основным гальваническим ваннам относятся ванны для непосредственного электроосаждения металла. Количество их определяют по формуле

$$X_B = \frac{T_z}{T_{фд} \cdot K_u} , \quad (38)$$

где $T_{фд}$ – действительный годовой фонд времени работы гальванической ванны (см. табл. 11); K_u – коэффициент использования ванны (см. п. 10.1).

Внутренние размеры стационарной гальванической ванны зависят от количества и размеров деталей или подвесок, загружаемых в нее одновременно. Так, внутренняя ширина ванны равна

$$Ш = n_1 \cdot \ell_1 + (n_1 - 1) \cdot (\ell_2 + 2\ell_3), \quad (39)$$

где n_1 – количество деталей или подвесок, устанавливаемых в один ряд по ширине ванны; ℓ_1 – размер деталей по ширине ванны; ℓ_2 – расстояние между деталями в ванне (50...100 мм); ℓ_3 – расстояние между боковой стенкой ванны и краем детали (100...150).

Внутренняя длина ванны определяется из выражения

$$L = m_k \cdot B_1 \cdot 2m_k \cdot B_2 \cdot 3B_3 \cdot m_a d_a, \quad (40)$$

где m_k – количество катодных штанг; B_1 – размер деталей по длине ванны; B_2 – расстояние между анодом и ближайшим краем деталей (100...150 мм); B_3 – расстояние между внутренней торцевой стенкой ванны и анодом (50...100 мм); $m_a = m_k + 1$ – количество анодных штанг; d_a – диаметр анодов.

Внутренняя высота ванны без бортовой вентиляции рассчитывается по формуле

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4, \quad (41)$$

где h_1 – высота деталей или подвески без подвесного крючка; h_2 – расстояние от дна ванны до нижнего края деталей или подвески (100...250 мм); h_3 – высота электролита над верхним концом деталей (20...50 мм); h_4 – расстояние от поверхности зеркала электролита до верхнего края бортов ванны (100...150 мм).

Расчетные величины L , $Ш$, H округляются до ближайших значений, приведенных в прил. 9, по которым определяют общий объем гальванической ванны $V = L \cdot Ш \cdot H$. Его подразделяют на рабочий объем V_p , объем безопасности $V_б$ и объем, вытесняемый деталями, подвесками и анодами $V_{на}$:

$$V = V_p + V_б + V_{на}. \quad (42)$$

Рабочий объем электролита стационарных ванн V_p при одновременно загружаемой площади деталей S_g должен обеспечивать оп-

тимальную объемную плотность тока в ванне 1...2 А/л (во избежание перегрева). Величина объемной плотности тока проверяется по формуле

$$D_O = \frac{S_B \cdot D_K}{V_P}. \quad (43)$$

Но оптимальную величину D_O на практике выдержать затруднительно, поскольку она в большой степени зависит от габаритов восстанавливаемых деталей, их площади покрытия и конструкции подвесных приспособлений. При наращивании декоративных и антикоррозионных покрытий в колокольных (барабанных) ваннах объемную плотность тока необходимо снижать до 0,05...0,2 А/дм². При несоответствии D_O рекомендованным значениям следует уменьшить величину S_B .

Количество загрузок гальванической ванны за смену равно

$$K_3 = \frac{t_{см} - t_{под}}{\tau_{шт}}, \quad (44)$$

где $t_{см}$ – длительность смены (табл. 10); $t_{под}$ – время на подготовку гальванической ванны к работе.

Зная количество и объем основных гальванических ванн, производят в зависимости от специфики технологического процесса выбор необходимого вспомогательного оборудования, назначают его количество и габариты. Перечень оборудования гальванического участка может включать в себя: стационарные гальванические ванны (хромирования, осталивания, никелирования, меднения), колокольные или барабанные ванны, ванны химико-механического (электрохимического) обезжиривания, ванны анодного травления (очистки), выпрямительные агрегаты, регуляторы напряжения и щиты управления, ванны многоступенчатой промывки холодной (теплой) водой, галтовочный колокол, ванну химического травления, ванну для фильтрации электролита, ванну для улавливания электролита, ванну нейтрализации, этажерки для подвесных приспособлений, стол монтажный, секционные стеллажи для деталей, установку проточного электроосаждения, шкаф для химической посуды, стол лабораторный, дистиллятор, ёмкость для дистиллированной воды, сушильный шкаф, полировальные станки и т.д.

Далее составляют (в зависимости от особенностей принятого технологического процесса) полный перечень средств технологиче-

ского оснащения (оборудования и оснастки) проектируемого гальванического участка. Для примера в прил.14 приведены средства технологического оснащения участка восстановления осталиванием золотников гидравлических распределителей.

После подбора и уточнения необходимого технологического оборудования определяют производственную площадь гальванического участка

$$F_y = K_n \sum_1^i F_{об}, \quad (45)$$

где K_n – коэффициент, учитывающий проходы, проезды и пр., $K_n = 4 \dots 4,5$; $\sum_1^i F_{об}$ – суммарная площадь оборудования в плане.

Расчетную величину F_y корректируют по возможности свободного доступа к оборудованию, достаточной ширины проходов (проездов) и обеспечения не менее $4,5 \text{ м}^2$ площади на одного работающего.

10.2.3. Выбор источников электрического питания

Источники электрического питания (выпрямительные агрегаты) необходимы для основных гальванических ванн, ванн электрохимического обезжиривания и анодного травления (очистки). Выбор их типа производят по следующим параметрам. Номинальное напряжение источников питания в зависимости от электропроводности электролита выбирают в пределах 6–9–12–18–24 В. Номинальная же сила электрического тока источника питания должна быть

$$I_n \geq D_{\max} S_{\max}, \quad (46)$$

где D_{\max} – максимальная для данного процесса катодная (или анодная) плотность тока; S_{\max} – максимальная площадь покрытия деталей за одну загрузку.

Количество выпрямительных агрегатов при индивидуальном питании назначают соответственно количеству электролитических ванн.

Выпрямительные агрегаты соединяются со штангами ванн шинами (медными или алюминиевыми) или гибким одножильным кабелем типа ВРГ (НРГ). Они подводятся к ваннам по стенам или по специальным стойкам. При этом открытые шины окрашивают масляны-

ми красками: положительные – в красный цвет, отрицательные – в синий.

Расчет площади сечения шин и кабелей ведут по допускаемой плотности электрического тока. От неё зависят их нагрев и падение напряжения, которое не должно превышать 10 % номинального напряжения источника питания. Площадь сечения их определяют по формуле

$$S_{шк} = I_n / D_0, \quad (47)$$

где $S_{шк}$ – площадь поперечного сечения шины (кабеля); D_0 – допускаемая плотность электрического тока (табл. 12).

Таблица 12

Допускаемые плотности тока, А/мм²

Материал	Проводник	
	шина	кабель
Медь	3,8...4,7	2,5...3,4
Алюминий	2,5...3,6	1,7...2,2

Правильный расчет шин и кабелей сокращает потери электроэнергии, потому что для гальванических ванн используется низкое напряжение (6...24 В). Но процесс электроосаждения металла требует тока значительной величины, который может вызвать падение напряжения в кабелях (шинах) больше допускаемого значения.

Особенности электрического питания и регулирования загрузки гальванических ванн по току см. п. 9.2.

10.3. Тепловой расчет ванн

Некоторые операции технологического процесса электрохимического наращивания металла производятся в растворах (электролитах), имеющих температуру 40...80 °С. Поэтому ванны для таких операций оборудуют устройствами нагрева. Типы и геометрические размеры нагревательных устройств принимают на основании конструктивных соображений. В тепловом же расчете таких ванн необходимо определить мощность нагревательного устройства, время разогрева ванны до рабочей температуры. Исходными данными для расчета при этом являются: рабочий объем ванны, удельный вес раствора (электролита) и его теплоемкость, начальная температура раствора, материал ванны и ее толщина, внутренние и наружные габариты ванны,

футеровка ванны и ее толщина, материал теплоизоляции и его толщина.

Количество тепла (Дж), необходимого для повышения температуры раствора (электролита) от комнатной до рабочей (с учетом тепловых потерь), определяют из выражения

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + \frac{Q_2}{2}, \quad (48)$$

где Q_1 – расход тепла на разогрев раствора и корпуса ванны; Q_2 – расход тепла на компенсацию тепловых потерь за время разогрева.

Расход тепла (Дж) на разогрев раствора (электролита) и корпуса ванны равен

$$Q_1 = (V_P \cdot C_P \cdot \rho + C_M \cdot M_1 + C_U \cdot M_2)(t_K - t_H), \quad (49)$$

где V_P – объем раствора в ванне, м³; C_P – удельная теплоемкость раствора, Дж/кг·град; C_M – удельная теплоемкость материала корпуса ванны, Дж/кг·град; C_U – удельная теплоемкость теплоизоляционного слоя, Дж/кг·град; ρ – плотность раствора (электролита), кг/м³; M_1 – масса корпуса ванны, кг; M_2 – масса теплоизоляционного слоя, кг; t_H – начальная температура раствора, °С; t_K – конечная температура раствора, °С.

При расчете Q_1 потери тепла на нагрев анодов незначительны и их не учитывают.

Расход тепла (Дж) на компенсацию тепловых потерь в окружающую среду за время разогрева равен

$$Q_2 = q_1 + q_2, \quad (50)$$

где q_1 – потери тепла раствором через стенки и дно ванны; q_2 – потери тепла на испарение с открытой поверхности раствора.

Потери тепла (Дж) через стенки и дно ванны (теплопроводностью, конвекцией, лучеиспусканием) определяют из выражения

$$q_1 = K_{CT} \cdot F_{CT} \cdot \tau (t_K - t_H) + K_{ДН} \cdot F_{ДН} \cdot \tau_n (t_K - t_H), \quad (51)$$

где K_{CT} , $K_{ДН}$ – коэффициенты теплопередачи стенок и днища ванны, Вт/м²·град; F_{CT} , $F_{ДН}$ – поверхность стенок и дна ванны, м²; τ_n – принятое время разогрева, max $\tau_n = 3\ 600$ с.

Коэффициенты теплопередачи $K_{ст}$, $K_{дн}$ (Вт / м²·град) рассчитывают по формуле

$$K_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_1^n \frac{R_i}{1} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (52)$$

где α_1 , α_2 – коэффициенты теплопередачи на граничных поверхностях стенки ванны с внутренней и наружной средами, Вт / м²·град; $\sum_1^n R_i$ – суммарное термическое сопротивление слоев стенки (днища) ванны; n – число слоев стенки (днища).

Термическое сопротивление каждого слоя стенки (днища) равно (м²·град/Вт)

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i} \quad (53)$$

где δ_i – толщина стенки (днища) ванны, м; λ_i – коэффициент теплопроводности слоя стенки, Вт/м·град.

Коэффициент теплопередачи от неподвижной горячей жидкости к стенке ванны α_1 зависит от произведения критериев Грасгофа G_r и Прандля P_r :

$$G_r = \frac{\beta \cdot q \cdot H^3 \cdot \Delta t}{\nu^2}; \quad P_r = \frac{\mu \cdot C_p}{\lambda_p}, \quad (54)$$

где β – коэффициент объемного расширения раствора; q – ускорение силы тяжести; H – высота стенки ванны; λ_p – коэффициент теплопроводности раствора; ν – кинематическая вязкость раствора; μ – динамическая вязкость раствора; $\Delta t = t_k + t_n$ – температурный напор.

Если $G_r \cdot P_r < 0,7 \cdot 10^{12}$, то

$$\alpha_1 = 0,07(\beta q \cdot P_r)^{1/4} \cdot \frac{\lambda_p}{\nu^{1/2}} \cdot \left(\frac{\Delta t}{H} \right). \quad (55)$$

Если $G_r \cdot P_r > 0,7 \cdot 10^{12}$, то

$$\alpha_1 = 0,009 \cdot (\beta q \cdot P_r)^{1/2} \cdot \frac{\lambda_p}{\nu^{2/3}} \cdot \Delta t^{1/3}. \quad (56)$$

Коэффициент теплоотдачи от стенки корпуса ванны к воздуху (Вт/м²·град) определяют по формуле В.П. Линчевского

$$\alpha_2 = 9,3 + 0,01t_{cm}, \quad (57)$$

где t_{cm} – температура наружной поверхности стенки ванны из условий теплопередачи, $t_{cm} = 30 \dots 40$ °С.

Потери тепла (Дж) на испарение открытой поверхностью ванны (зеркалом электролита) определяются по выражению

$$q_2 = (5,7 + 4,1 \cdot V_c) \cdot \Delta t \cdot F_3 \cdot \tau_n, \quad (58)$$

где V_c – скорость движения воздуха над поверхностью раствора, м/с; F_3 – площадь зеркала электролита, м².

Расчетное время разогрева растворов (ч) в гальванических ваннах τ_p зависит от типа и мощности выбранного нагревательного устройства. Оно определяется следующими способами.

При нагреве трубчатыми электрическими нагревателями (ТЭ-Нами) его определяют из выражения

$$\tau_p = 0,00028 \cdot \kappa \cdot \frac{Q_\Sigma}{\Sigma P}, \quad (59)$$

где κ – коэффициент запаса, учитывающий в изменение состояния нагревательных элементов, теплоемкости нагреваемого раствора и колебания напряжения в сети, $\kappa = 1,1 \dots 1,3$; ΣP – суммарная мощность устанавливаемых трубчатых электронагревателей ванны.

Для нагрева воды и слабых растворов щелочей применяют ТЭ-На с материалом оболочки из углеродистой стали, для нагрева слабых растворов кислот – из нержавеющей стали. Для обеспечения длительной работы рекомендуется наносить защитное покрытие на оболочку ТЭНа (полимерное или свинцовое).

Время разогрева растворов в ваннах (ч) до рабочей температуры при паровом нагреве рассчитывают по формуле

$$\tau_p = \frac{Q_\Sigma}{K_3 \cdot S_3 \cdot t_{cp}}, \quad (60)$$

где K_3 – коэффициент теплопередачи змеевика, $K_3 = 814 \dots 3489$ Вт/м²·град (в зависимости от его кислотостойкой изоляции); S_3 – поверхность нагрева змеевика, м²; t_{cp} – средняя температура пара.

$$t_{CP} = \frac{(t_1 - t_H) - (t_2 - t_K)}{2,3 \lg \frac{t_1 - t_H}{t_2 - t_K}}, \quad (61)$$

где t_1 – начальная температура пара (при давлении 1,46 кгс/см²); t_2 – температура конденсата.

При определении поверхности нагрева парового змеевика S_3 назначают диаметр трубы d_3 и определяют его общую длину (без учета длины подводящей и отводящей пар труб):

$$L_3 = \frac{S_3}{\pi d_3}. \quad (62)$$

Затем из конструктивных соображений назначают форму и размеры змеевика, которые проверяют по выражению

$$L_3 = (L - 2z)e + (e - 1)u, \quad (63)$$

где z – расстояние от боковой стенки ванны до змеевика; e – количество длинных участков змеевика; u – расстояние между трубами змеевика.

Для обеспечения нормальной работы змеевика проверяют начальную скорость пара (м/с) на входе в него:

$$V_{НП} = \frac{P_{П}}{3600 \cdot \rho_n \cdot 0,785 \cdot d_3^2}, \quad (64)$$

где $P_{П}$ – рабочее давление пара, кгс/см²; ρ_n – плотность пара, кг/м³. $V_{НП}$ должна быть не более 30 м/с.

Змеевики нагрева ванн изготавливают из цельнотянутых (катанных) нержавеющей труб (сталь 12Х18Н10Т) или труб из углеродистой стали. В обоих случаях для защиты их от коррозионного воздействия кислот (щелочей) и электроокислительных реакций (растворения) наружную поверхность их желательно покрывать кислотостойким и термостойким покрытием, тип которого определяется агрессивностью химической среды (электролита) ванны.

Расчетное время разогрева электролита (ч) при электролизном нагреве равно

$$\tau_P = \frac{Q_{\Sigma}}{I_{\Sigma}^2 \cdot R_{OB}}, \quad (65)$$

где $I_{\text{э}}$ – ток электролизного нагрева, А; $R_{\text{ОБ}}$ – сопротивление электролита между электродами нагрева.

При расстоянии между осями цилиндрических электродов нагрева, во много раз превышающем их радиус, сопротивление электролита (Ом) определяют по формуле

$$R_{\text{ОБ}} = \rho_{\text{э}} \frac{\ln \frac{A}{r}}{\pi \ell_{\text{Н}}}, \quad (66)$$

где $\rho_{\text{э}}$ – удельное сопротивление электролита; A – расстояние между осями электродов; r – радиус рабочей части электрода нагрева ($A \gg r$); $\ell_{\text{Н}}$ – длина рабочей части электрода нагрева.

Поскольку $\rho_{\text{э}}$ зависит от температуры электролита, то при выборе источника электрического питания (сварочного трансформатора) целесообразно придерживаться следующего соотношения:

$$I_{\text{э}}^{\text{н}} \geq U_{\text{э}} \frac{1}{\min R_{\text{ОБ}}}, \quad (67)$$

где $I_{\text{э}}^{\text{н}}$ – номинальный ток источника питания электролизного нагрева; $U_{\text{э}}$ – номинальное напряжение трансформатора; $\min R_{\text{ОБ}}$ – сопротивление электролита между электродами нагрева при рабочей температуре.

Электроды нагрева могут быть растворимыми (т.е. из того же металла, который наращивается) и нерастворимыми (графитовые, свинцовые стержни).

10.4. Разработка планировочного решения

Гальванический участок ремонтного предприятия размещают в отдельном, изолированном от других участков, помещении. Обычно участок располагают на первом этаже здания у наружной стены. Прокладку вентиляционных каналов предусматривают таким образом, чтобы они имели выход наружу.

Расстановку оборудования на участке производят в соответствии с последовательностью выполнения операций технологического

процесса и санитарно-техническими требованиями. При этом рекомендуется соблюдать следующие расстояния: от стены до оборудования 0,5... 0,6 м (при расположении рабочего места между ванной и стеной 1,2...1,5 м); между рядами оборудования при одностороннем обслуживании 1,2...1,5 м, при двухстороннем – 1,5...2,0 м; между оборудованием в одном ряду 0,1...0,2 м. Высота верхнего края ванны, включая арматуру, не более 800...900 мм над уровнем напольных решеток. У более высоких ванн должны быть площадки или ступенчатые приставки.

Установку источников электрического питания предусматривают по вариантам, изложенным в п. 9.2. Но к ним предусматривают подвод охлаждающей среды (воздушного или жидкостного типа), обеспечивающей поддержание рабочей температуры диодов (тиристоров) ниже предельно допустимой. Если на предприятии нет химической лаборатории, то на участке предусматривается рабочее место по химическому анализу электролитов и материалов (рис. 37).

Для перемещения подвесок с деталями (коленчатых, распределительных валов и пр.) и деталей значительной массы (картеров, блоков цилиндров) на участке предусматривают подвесную кран-балку или монорельс с тельфером. Участок обязательно оборудуется: приточно-вытяжной вентиляцией; подводом холодной (теплой) воды, пара (при его наличии в летнее время), сжатого воздуха, электроэнергии и системой слива. Все электротехническое оборудование участка должно иметь надежное контурное заземление. Сопротивление изоляции этого оборудования должно быть не менее 0,5 МОм.

Сточные воды гальванического участка весьма разнообразного состава и с сильно изменяющейся концентрацией примесей. Поэтому их отводят в специальную отстойную емкость, расположенную на территории предприятия, для обезвреживания (нейтрализации) и только потом они поступают в канализацию. Для нейтрализации кислых стоков используют известь. Нейтрализация кислотощелочных стоков может происходить автоматически при их смешивании. В стоках, отводимых в канализацию, концентрации вредных веществ не должны превышать предельно допустимых значений. В гальваническом участке должна поддерживаться надлежащая чистота. С этой целью стены помещения на высоту 2 м от пола облицовывают керамической или стеклянной плиткой, что позволяет протирать их мокрой ветошью или щетками. Остальная часть стен и потолки должны быть гладкими, хорошо оштукатурены и тщательно выбелены.

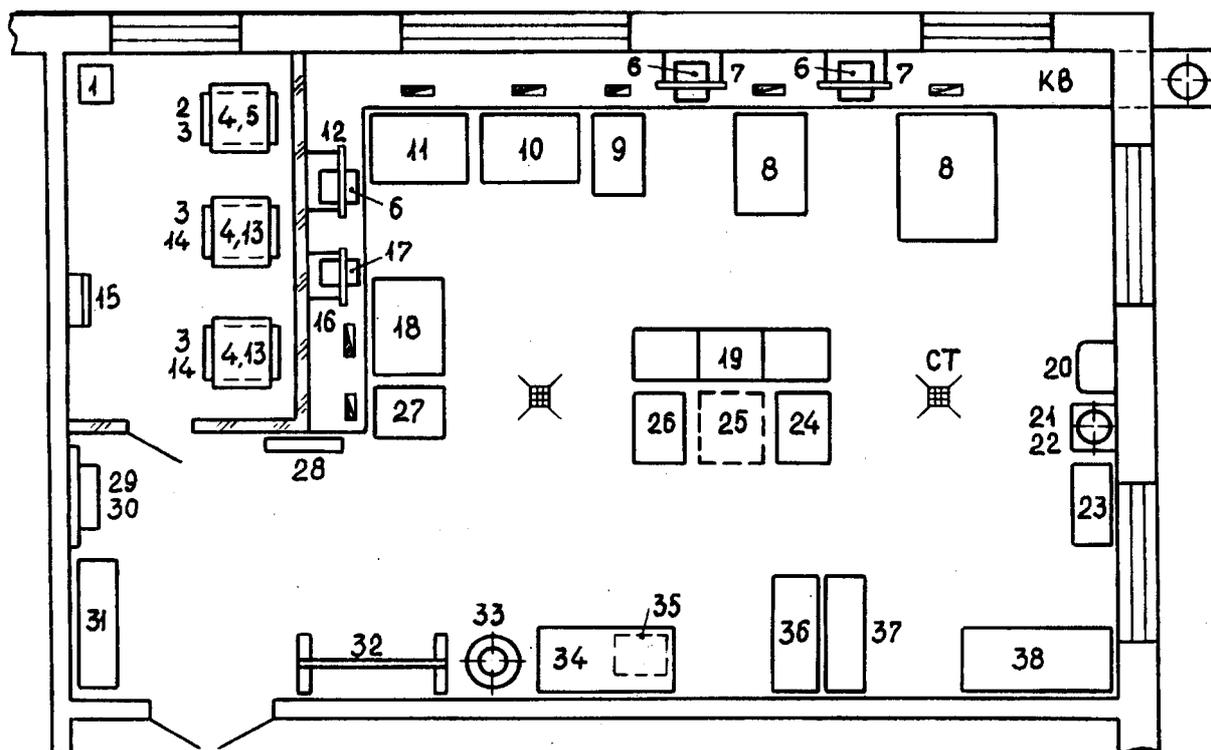


Рис. 37. Планировка участка восстановления деталей осталиванием:
 1—трансформатор ТПО-2,5/80; 2—сварочный трансформатор ТДМ-401У2; 3—подставка под выпрямительный агрегат; 4—трансформатор 3х380/3х220; 5—выпрямительный агрегат ВАКГ-12/6-600; 6—регулятор напряжения РНТ-220 -12; 7—щит управления ванной осталивания; 8—ванна осталивания; 9—ванна промывки теплой водой; 10—ванна анодной очистки; 11—ванна анодного травления; 12—щит управления ваннами анодного травления и анодной очистки; 13—выпрямительный агрегат ВАС-600/300; 14—сварочный трансформатор ТД-500; 15—ящик силовой ЯБВУ-2; 16— щит управления ванной электрохимического обезжиривания; 17—регулятор напряжения РНО-250-10; 18—ванна электрохимического обезжиривания; 19—ванна промывки холодной водой (трехсекционная); 20—раковина стальная эмалированная; 21—подставка под дистиллятор; 22—дистиллятор Д-4; 23—стеллаж для бутылей с дистиллированной водой; 24—ванна нейтрализации; 25—ванна для фильтрации электролита (передвижная); 26—ванна химико-механического обезжиривания; 27—ванна для мойки и хранения анодов; 28—стеллаж для инвентаря; 29—ящик с песком; 30—противопожарный щит; 31—шкаф для спецодежды; 32—этажерка для подвесных приспособлений; 33—пирамидка для изоляционных экранов; 34—стол монтажный; 35—ларь для обтирочных материалов; 36—секционный стеллаж для деталей; 37—шкаф для химической посуды и реактивов; 38—лабораторный стол для химических анализов; KB—канал вентиляционный (напольный); СТ—сливной напольный трап

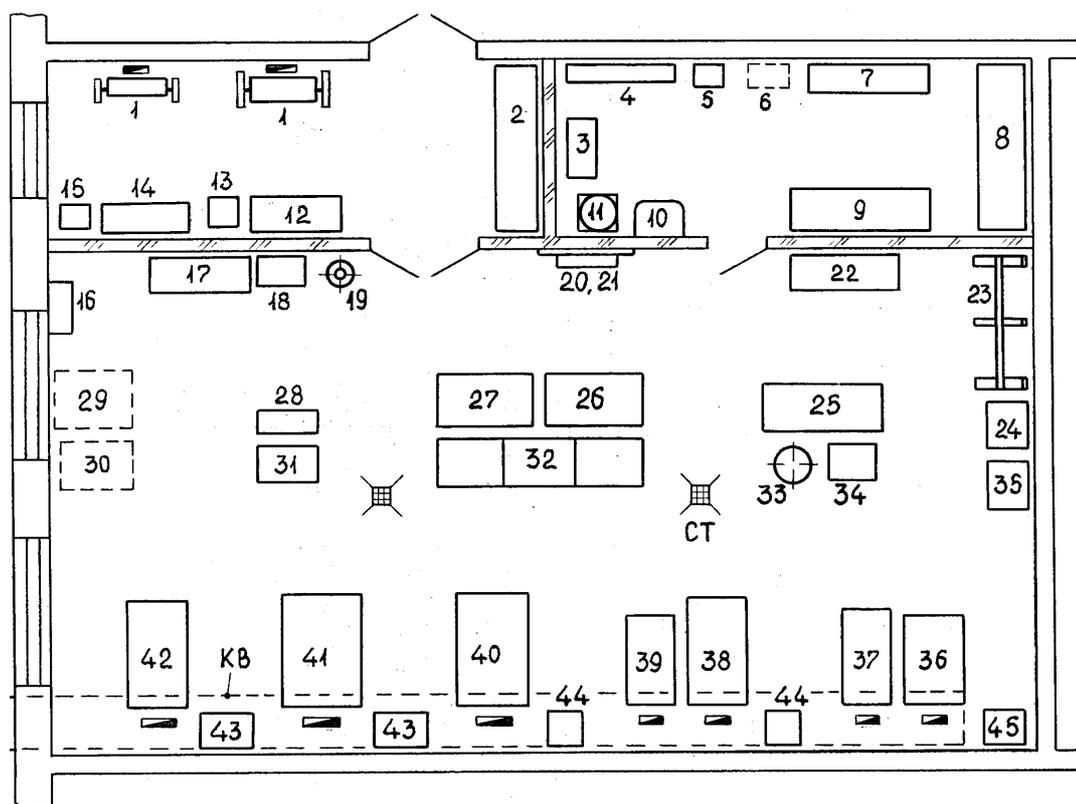


Рис. 38. Планировка гальванического участка: 1—шлифовально-полировальный станок; 2— стеллаж для деталей; 3—ванна для дистиллированной воды; 4—подставка для бутылей с кислотой; 5—приспособление для розлива кислоты; 6—тележка для перевозки бутылей с кислотой; 7—шкаф для химической посуды; 8—стеллаж для химикатов и реактивов; 9—лабораторный стол для химических анализов; 10—раковина стальная эмалированная; 11—дистиллятор на подставке; 12—верстак слесарный; 13—ванночка с уайт-спиритом; 14—стеллаж для приспособлений и инструмента; 15—ларь для ветоши; 16—силовой распределительный щит; 17—шкаф для спецодежды; 18—этажерка для инвентаря и запасных ёмкостей; 19—фонтанчик питьевой; 20—ящик с песком; 21—противопожарный щит; 22—стеллаж секционный для деталей и изоляционных экранов; 23—этажерка для подвесных приспособлений трехъярусная; 24—ванна для воскирования деталей; 25—стол монтажный; 26—ванна химико-механического обезжиривания; 27—ванна нейтрализации; 28—вешалка для анодов; 29—ванна для фильтрации электролита (передвижная); 30— ванна для улавливания электролита хромирования (передвижная); 31—стол для очистки анодов; 32—ванна промывки холодной водой (трехсекционная); 33—бак с нитрокраской; 34—ванночка с раствором кальцинированной соды; 35—ванна развоскирования; 36—ванна анодного декапирования; 37—ванна химического травления; 38—ванна меднения; 39—ванна промывки теплой водой; 40—ванна никелирования; 41—ванна хромирования в стандартном электролите; 42—ванна хромирования в тетрахроматном электролите; 43—выпрямительный агрегат ТВ1-1600/12Т-0; 44—выпрямительный агрегат ТЕ1-100/12Т-0; 45—выпрямительный агрегат ТЕ1-800/24Т-0; KB—канал вентиляционный (подпольный); СТ—сливной напольный трап

В помещении участка должно быть хорошее естественное и искусственное освещение. Для создания достаточного объема и установки верхних транспортных устройств важным строительным параметром является высота производственного помещения, которая должна быть не менее 4,8 м.

Особое внимание при организации гальванического участка уделяется устройству пола. Его делают по следующей схеме: основание из щебня и бетона; бетонный слой из кислотощелочестойкого цемента с прослойками рубероида и битуминоля; верхний слой из керамических плиток на кислотощелочестойкой мастике. Для стока воды пол должен иметь уклон 1...1,5 % в сторону сливных напольных трапов.

Для защиты полов рекомендуется также применять листовой полиизобутилен, устойчивый во многих агрессивных средах. Его приклеивают к бетонному слою стирольно-термопреновым клеем.

В каждом конкретном случае планировочное решение гальванического участка обусловлено назначением наращиваемых покрытий, особенностями принятого технологического процесса и величиной производственной площади. Для примера на рис. 38 приведена планировка гальванического участка, предназначенного для наращивания двух-, трехслойных защитно-декоративных покрытий. В нем также возможно производить электроосаждение износостойких (никелевых, хромовых) и защитных медных покрытий. Необходимые шлифовально-полировальные станки размещаются в отдельном помещении. От каждого полировального круга предусматривается местная вытяжная вентиляция при норме отсоса воздуха 2 м³/ч с 1мм диаметра нового полировального круга.

10.5. Расчет приточно-вытяжной вентиляции

При выполнении отдельных операций технологического процесса электроосаждения металла выделяются пары воды, кислот, водород, хлор, кислород и т.д. Для удаления их и создания на гальваническом участке нормальных условий труда предусматривается приточно-вытяжная вентиляция, которая должна обеспечивать температуру в помещении 18...20°C, влажность воздуха не более 75% и предельно допускаемые концентрации ядовитых газов и паров в помещении (прил. 15).

10.5.1. Вытяжная вентиляция

Эффективное удаление вредных веществ при работе гальванических ванн обеспечивается применением местных отсосов. Для этого используются одно-, двухбортовые отсосы (кожухи), которые представляют собой щелевидные приемники-воздуховоды, располагаемые вдоль одной или обеих длинных сторон ванны. Ширина щели их принимается равной 0,08...0,1 от ширины ванны. Каждый кожух соединяется с общим вентиляционным каналом через воздуховод с шиберной задвижкой (см. п. 9.1). Наличие задвижки позволяет регулировать количество отсасываемого от ванны воздуха, а при необходимости отключать ее от вентиляционного канала.

На гальванических участках вентиляционный канал выполняют в виде подпольного или напольного канала, перекрываемого железобетонными плитами. Канал должен иметь уклон 1,5...2,5 % в сторону движения воздуха для стекания образующегося в нем конденсата. Перед вентилятором предусматривают углубление для сбора и удаления конденсата. Каналы изготавливают из бетона или красного кирпича. Внутреннюю поверхность их штукатурят кислотоупорным цементным раствором и покрывают защитным покрытием, которое выбирают с учетом агрессивности отсасываемых газов.

Количество воздуха ($\text{м}^3/\text{ч}$), подлежащее удалению от ванны через бортовые вентиляционные кожухи, определяется по формуле

$$Q_i = K_3 \cdot K_T \cdot B \left(\text{Ш}^3 q \varphi \frac{t_g - t_n}{3tn} \right)^{0,5} \cdot 3600L, \quad (68)$$

где K_3 – коэффициент запаса, $K_3 = 1,5 \dots 1,75$; K_T – коэффициент, учитывающий геометрические размеры зеркала электролита, для однобортового отсоса $K_T = \left[1 + \text{Ш}(4L)^{-1} \right]^2$, для двухбортового $K_T = \left[1 + \text{Ш}(8L)^{-1} \right]^2$; B – безразмерная характеристика бортового отсоса, (однобортового $B = 0,35$, двухбортового $B = 0,5$); φ – угол между границами всасывания потока воздуха в радианах, $\varphi = 0,5\pi$, t_g – температура раствора в ванне; t_n – температура воздуха в помещении.

Скорость воздуха ($\text{м}/\text{с}$) в щели бортового кожуха определяется из выражения

$$V_{\text{щ}i} = Q_i / (3600 \cdot F_{\text{щ}i})^{-1}, \quad (69)$$

где $F_{\text{щ}i}$ – площадь щели бортового кожуха. Значения $V_{\text{щ}i}$ – допускаются в пределах 7...10 м/с.

Общее количество отсасываемого воздуха (м³/ч) определяют суммированием

$$Q_B = \sum_1^i Q_i, \quad (70)$$

где i – количество ванн, оборудованных местными отсосами.

Для расчета систему вытяжной вентиляции разбивают на отдельные участки (рис. 39). На каждом из них (по методикам, изложенным в специальной литературе) определяют потери напора воздуха на трение, размеры канала, количество местных сопротивлений, потери напора на местные сопротивления. Среднюю площадь поперечного сечения вентиляционного канала определяют по скорости движения воздуха, которая должна быть не более 12 м/с. Затем рассчитывают суммарные потери напора H_p .

Действительный (необходимый) напор (Па) вентилятора, отсасывающего воздух с повышенной температурой, определяется из выражения

$$H_{\partial} = H_p \frac{t_{BC} + 273}{293} \cdot \frac{760}{БД}, \quad (71)$$

где t_{BC} – средняя температура отсасываемого воздуха; $БД$ – барометрическое давление.

К полученному значению действительного напора добавляют динамический напор в размере 30...40 %. Тогда полный необходимый напор, который должен обеспечивать вентилятор, будет равен

$$H_n = (1,3...1,4) \cdot H_{\partial}. \quad (72)$$

По расчетным значениям Q_e и H_n выбирают вентилятор. Электродвигатель для него подбирают из условия соединения с вентилятором (через муфту или клиноременную передачу). Для этого производят перерасчет мощности (кВт) на валу электродвигателя по формуле

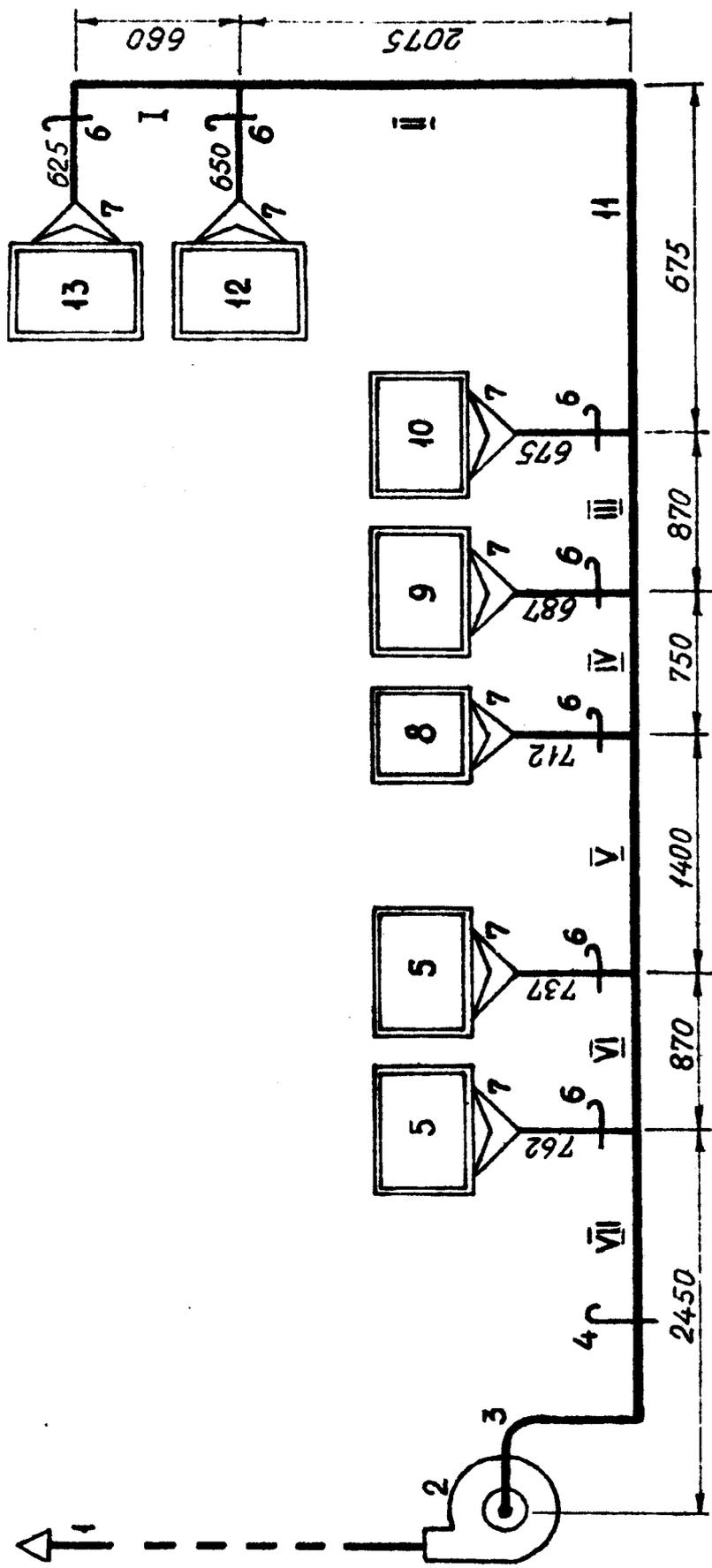


Рис. 39. Расчетная схема вытяжной вентиляции: 1—шахта выброса воздуха; 2—вентилятор; 3—отвод; 4—шибер вентиляционного канала; 5—ванна осталивания; 6—шиберная задвижка; 7—кожух вентиляционный бортовой; 8—ванна промывки тепловой водой; 9—ванна анодного травления; 10—ванна анодной очистки; 11—канал вентиляционный; 12—ванна электрохимического обезжиривания; 13—ванна для мойки деталей

$$N_{\partial} = \frac{Q_B \cdot H_n}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_B} \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^3 \frac{K_m}{\eta_n \eta_m}, \quad (73)$$

где n_1 – частота вращения электродвигателя; n_2 – частота вращения вентилятора; K_m – коэффициент запаса мощности, $K_m = 1,05$; η_n – КПД подшипников вентилятора; η_m – КПД передачи "двигатель–вентилятор"; η_B – КПД вентилятора, $\eta_B = 0,8$.

По специальным справочникам окончательно принимают тип вентилятора и приводного электродвигателя.

10.5.2. Приточная вентиляция

Отсасываемый из гальванического участка воздух компенсируется притоком свежего (подогретого зимой), подаваемого в помещение приточной вентиляцией. Приточный воздух нагнетается в верхнюю зону помещения со скоростью 2...2,5 м/с. В летнее время чистый воздух может также поступать через открытые окна, двери, форточки.

Потребное количество приточного воздуха принимается на 15 % меньше отсасываемого из помещения. Оно равно

$$Q_{\Pi} = 0,85Q_B. \quad (74)$$

По величине Q_{Π} производят предварительный выбор вентилятора.

Расход тепла на нагрев приточного воздуха определяется из выражения

$$W = Q_{\Pi} C_B \gamma_B (t_{CB} - t_{BX}), \quad (75)$$

где C_B – весовая теплоемкость воздуха, $C_B = 0,24$ ккал/кг·град; γ_B – плотность воздуха при 20 °С, $\gamma_B = 1,205$ кг/м³; t_{CB} – средняя температура нагретого воздуха, $t_{CB} = 20$ °С; t_{BX} – температура воздуха на входе в калорифер.

Поверхность нагрева калорифера

$$F_K = \frac{W}{K_T (t_{cp.T} - t_{cp.в})} \cdot K_{зн}, \quad (76)$$

где K_T – коэффициент теплопередачи, при весовой скорости воздуха $V_\gamma = 8$ кг/с м² для пара $K_T = 24,0$; $t_{CP.T}$ – средняя температура теплоносителя, для пара при давлении 4 кгс/см² $t_{CP.T} = 142,92$ °С; $t_{cp.в}$ – средняя температура проходящего через калорифер воздуха, $t_{cp.в} = 0,5(t_{BX} - t_{CB})$; $K_{зн}$ – коэффициент запаса, $K_{зн} = 1,15$.

Живое сечение калорифера по воздуху (м²) должно быть не менее

$$f = \frac{Q_{ПВ}}{3600 \cdot V_\gamma}, \quad (77)$$

По расчетным значениям W , F_K и f выбирают калорифер и производят проверку его на теплопередачу.

$$W_K^1 = F_K^1 K_T (t_{CP.T} - t_{CP.B}). \quad (78)$$

Для нормальной работы приточной вентиляции необходимо выдержать соотношение $W < W_K^1$ при коэффициенте запаса 1,22.

Затем производят проверку выбранного вентилятора применительно к условиям работы. Для этого определяют действительное сопротивление (Па) воздуховодов:

$$H_C = H_\Gamma \frac{t_{ПК} + 273}{t_{П} + 273} \cdot \frac{760}{БД}, \quad (79)$$

где H_Γ – сопротивление после вентилятора; $t_{ПК}$ – температура воздуха, выходящего из калорифера; $t_{П}$ – минимальная температура воздуха в помещении.

Действительное сопротивление системы с калорифером равно

$$H_{\partial c} = H_C + 2H_K, \quad (80)$$

где H_K – сопротивление калорифера при весовой скорости воздуха 8 кг/см².

На основании расчетных данных по специальным номограммам находят приведенное давление вентилятора $H_{СП}$ и выбирают тип вентилятора для калорифера.

Необходимая мощность электродвигателя (кВт) для привода вентилятора определяется из выражения

$$N_B = \frac{Q_{II} H_{СП}}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_B \cdot 9,81} \quad (81)$$

При подборе вентиляторов, калориферов, электродвигателей используют специальные справочники (каталоги), в которых приведены их типы, характеристики, габаритные размеры и правила выбора.

10.6. Охрана труда и техника безопасности

Гальванические участки относятся к категории вредных производств. Поэтому для обеспечения нормальных санитарно-гигиенических условий труда помещение участка должно удовлетворять требованиям, изложенным в пп.10.4 и 10.5. Основные же требования охраны труда и техники безопасности состоят в следующем.

К работе по электроосаждению покрытий допускаются лица в возрасте не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр, специальное обучение и инструктаж по технике безопасности. Все они должны быть обеспечены спецодеждой: резиновыми сапогами, кислотостойкими перчатками, прорезиненными фартуками, халатами, защитными очками (закрытого типа с безосколочными стеклами) и респираторами (типа РУ, РПГ и др.). В нерабочее время эта спецодежда должна храниться в специальных шкафчиках. Работающим у ванн хромирования необходимо ежедневно смазывать носовую полость, руки и лицо мазью, составленной из одной части ланолина и двух частей вазелина. Для защиты кожи от раздражающего воздействия кислот и щелочей рекомендуются также гидрофобные мази и пасты.

В гальваническом участке запрещается хранить пищевые продукты, принимать пищу, пить из лабораторной посуды, курить, пользоваться открытым огнем и допускать посторонних лиц на рабочие места. Работа на гальванических ваннах разрешается только при включенной вытяжной вентиляции и исправной системе электрического питания. При их неисправности следует прекратить выполнение работ и немедленно покинуть помещение.

Особые предосторожности следует соблюдать при выполнении операций с кислотами, щелочами и электролитами. При попадании их брызг на открытые участки тела или в глаза пораженные места необходимо немедленно обмыть струей холодной воды, протереть 2...3 %-

ным раствором пищевой соды и снова промыть водой. Пролитую на пол кислоту следует нейтрализовать кальцинированной содой или известью и смыть холодной водой. Пролитая же щелочь смывается водой.

Бутыли с кислотами и щелочами необходимо хранить в корзинах или деревянных ящиках. Перевозить их нужно только на специальных тележках. Поднимая бутылку, следует поддерживать корзину (ящик) за дно, а ставя бутылку, – не ударять ею об пол. Для розлива кислот необходимо пользоваться специальным устройством или сифоном (рис. 40).

При приготовлении растворов кислоту следует обязательно вливать в холодную воду (а не наоборот) небольшими порциями (тонкой струей) при перемешивании.



Рис. 40. Приспособления для розлива кислот и щелочей

Иначе может произойти вскипание и выброс кислоты. При

составлении смеси кислот в воду добавляют сначала соляную, затем азотную и в последнюю очередь серную кислоту. Нарушение порядка составления смеси может вызвать ожоги.

При использовании органических растворителей следует иметь в виду их пожаро-, взрывоопасность и токсичность (сушат кожу рук и влияют на центральную нервную систему). Поэтому работать с ними можно только при включенной вытяжной вентиляции, не допуская курение и пользование электронагревательными приборами. Горячие растворители должны быть исключены из применения.

При работе на шлифовально-полировальных станках необходимо пользоваться защитными очками и рукавицами, а при обработке деталей из бронзы и латуни надевать респиратор. Все полученные шлифовально-полировальные круги следует тщательно осматривать, при необходимости слегка остукивая их деревянным молотком. Запрещается мыть в промывочных ваннах руки и посторонние предметы, не связанные с процессом наращивания покрытий.

Штанги ванн, подвески и аноды (стальные, свинцовые, медные, цинковые, никелевые) можно чистить только мокрым способом, смазывая металлические щетки или шлифовальную шкурку водой. При этом не снимаемые с изоляторов штанги ванн разрешается очищать только при выключенном источнике электрического питания ванны и закрытом полиэтиленовой пленкой зеркале электролита после предварительной их протирки влажной ветошью.

В качестве ветоши в гальванических участках используют хлопчатобумажные материалы. Применение шерстяных и шелковых тканей для протирки деталей (особенно бензином и уайт-спиритом) не рекомендуется. Использованная обтирочная ветошь должна содержаться в специальных металлических ящиках с крышками не более одних суток.

Потенциально опасным фактором поражения в гальванических участках является электрический ток. Его нельзя обнаружить органами зрения, обоняния, слуха, осязания до момента попадания под напряжение. Для питания электролитических ванн в авторемонтном производстве обычно применяется напряжение 6...24 В, которое считается безопасным. Но на участках применяется также оборудование, работающее под напряжением 220...380 В. Опасность поражения током определяется не только напряжением, но и условиями работы. Для гальванических участков они весьма неблагоприятны: влажные полы, пары кислот и воды. Поэтому для защиты гальваников применяются следующие меры безопасности: у электрооборудования вывешиваются предупреждающие плакаты (надписи, знаки); перед электротехническими средствами оснащения и аппаратурой управления ими должны лежать изолирующие подставки (реечные из деревянных брусков, резиновые или полиэтиленовые коврики и дорожки); при работе персонал должен использовать средства личной защиты (резиновые перчатки, боты, галоши и т.д.). Заземлять (занулять) нужно не только электротехническое оборудование, но также трубопроводы и другие металлические части ванн, которые могут оказаться под напряжением. Внутренняя проводка (осветительная, силовая) должна быть надежно защищена от случайных прикосновений и иметь хорошую изоляцию. Для этого в установленные сроки производятся осмотр и профилактический ремонт электрооборудования участка.

В общем случае во время работы гальваники должны выполнять следующие требования:

а) не пробовать химикаты в сухом и жидком виде на вкус и ощупь;

б) не засасывать растворы и кислоты ртом через шланги или стеклянные трубки;

в) при работе с химикатами, кислотами и щелочами пользоваться кислотостойкими перчатками, защитными очками и респиратором;

г) соли и кислоты добавлять в электролит мелкими порциями при перемешивании;

д) при выполнении вспомогательных операций тщательно следить за тем, чтобы растворы не разбрызгивались;

е) операцию химико-механического обезжиривания выполнять только в резиновых перчатках (обезжиривающая смесь вызывает пересыхание и растрескивание кожи рук);

ж) не закреплять детали в подвесные приспособления над поверхностью ванн, упавшие же в ванну детали доставать специальными приспособлениями (магнитами, перфорированными совками);

з) завешивать аноды и подвесные приспособления в гальваническую ванну плавно, без толчков и рывков, чтобы избежать ожогов от брызг электролита;

и) предупреждать случаи короткого замыкания штанг гальванических ванн и избегать опасности поражения электрическим током;

к) соблюдать регламентированные правила пожаро-, взрыво-, электробезопасности;

л) об отравлении, недомогании, общей слабости, тошноте, головокружении, ожоге, даже о легком поражении электрическим током и возможности возникновения пожара немедленно сообщать мастеру;

м) не реже одного раза в месяц очищать щели бортовых вентиляционных кожухов ванн.

Гальваники обязаны содержать в чистоте помещение участка, обеспечивать сохранность рабочего инструмента, приспособлений, инвентаря, не загромождать проходы (проезды) и о всех замеченных неисправностях технологического оборудования и оснастки сообщать мастеру. После работы тщательно вымыть руки и лицо теплой водой с мылом.

В помещении гальванического участка должны иметься противопожарное оборудование (огнетушители, песок, химическая пена и пр.) и медицинская аптечка. На видных местах вывешиваются инструкции и плакаты по безопасным приемам труда. Оказание первой помощи при отравлениях, химических ожогах, поражении электриче-

ским током производится рекомендуемыми медицинской практикой способами.

Контрольные вопросы

1. Какое время вспомогательных операций электронаращивания покрытий является перекрываемым и неперекрываемым?
2. Расскажите о способах расчета штучно-калькуляционного времени.
3. Какими методами определяется производственная программа гальванического участка?
4. Напишите формулу для расчета годового объема работ.
5. Как определяют необходимую производственную площадь гальванического участка?
6. От чего зависит выбор источников электрического питания ванн и где их устанавливают ?
7. Расскажите о методике расчета количества тепла, необходимого для нагрева электролита.
8. Как определяется время разогрева растворов при нагреве (ТЭНами, паровым змеевиком, электролизном)?
9. Перечислите требования к планировочному решению гальванического участка.
10. Для чего предусматривается уклон вентиляционного канала и пола? Как делается кислото-щелочестойкий пол?
11. Перечислите оборудование участка восстановления деталей осталиванием.
12. Расскажите о сущности расчета вытяжной вентиляции.
13. Как определяются поверхность нагрева калорифера и мощность электродвигателя его вентилятора?
14. Перечислите общие требования охраны труда и техники безопасности в гальванических участках.
15. Какие правила должны соблюдать гальваники при работе?

Библиографический список

1. Батищев Д.И. Пособие гальваника-ремонтника.– М.: Агропромиздат, 1986. – 192 с.
2. Восстановление автомобильных деталей. Технология и оборудование: Учеб. для вузов / В.Е. Канарчук, А.Д. Чигринец, О.Л. Голяк, П.М. Шощкий. – М.: Транспорт, 1995. – 303 с.
3. Гальванические покрытия в машиностроении: Справочник: В 2 т. /Под ред. М.А. Шлугера.– М.: Машиностроение, 1985. – 485 с.
4. Гончаренко К.С. Пористое хромирование деталей машин. – М.: Машиностроение, 1968. – 192 с.
5. Дасоян М.А., Пальмская И.Я. Оборудование цехов электрохимических покрытий. – Л.: Машиностроение, 1979. –287с.
6. Дюмин И.Е., Трегуб Г.Г. Ремонт автомобилей /Под ред. И.Е.Дюмина. – М.: Транспорт, 1998.–280 с.
7. Елинский И.И. Вентиляция и отопление гальванических цехов машиностроительных предприятий. – М.: Машиностроение, 1989. – 439 с.
8. Инженерная гальванотехника в приборостроении /Под ред. А.М.Гимберга. – М.: Машиностроение, 1977. – 512 с.
9. Какуевицкий В.А. Восстановление деталей автомобилей на специализированных предприятиях. – М.: Транспорт, 1988. – 149 с.
10. Масино М.А. Организация восстановления автомобильных деталей. – М.: Транспорт, 1981. – 176 с.
11. Мелков М.П. Твердое осталивание автотракторных деталей.–М.: Транспорт, 1971. – 224 с.
12. Мелков М.П., Швецов А.Н., Мелкова И.М. Восстановление автомобильных деталей твердым железом. – М.: Транспорт, 1982. – 198 с.
13. Михайлов А.А. Обработка деталей с гальваническими покрытиями. – М.: Машиностроение, 1981. – 144 с.
14. Молчанов В.Ф. Восстановление и упрочнение деталей автомобилей хромированием.–М.: Транспорт, 1981. – 176 с.
15. Петров Ю.Н., Косов В.П., Стратулат М.П. Ремонт автотракторных деталей гальваническими покрытиями. – Кишинев: Картя молдовеняскэ, 1976. – 150 с.
16. Пиявский Р.С. Гальванические покрытия в ремонтном производстве. – Киев: Техника, 1975. – 176 с.
17. Серебрянный Л.А. Безопасность труда при нанесении гальванических покрытий. – М.: Машиностроение, 1980. – 70 с.
18. Справочник технолога авторемонтного производства / Под ред. Г.А. Малышева. – М.: Транспорт, 1977. – 432 с.
19. Шадричев В.А. Ремонт автомобилей. – М.; Л.: Машиностроение, 1965. –616 с.
20. Ямпольский А.М., Ильин В.А. Краткий справочник гальванотехника. – М.: Машиностроение, 1981. – 269 с.

Определение диаметра цилиндрической поверхности

Измерение диаметра	Плоскость замера	Пояса замеров			Средний диаметр, мм
		I	II	III	
До наращивания металла	A-A				d_{∂}
	B-B				
После наращивания металла	A-A				d_g
	B-B				

Внутренние диаметры d_g и шаги P метрической резьбы (мм)

Номинальный диаметр резьбы		6	8	10	12	14	16
Резьба с мелким шагом	P	—	1,0	1,25	1,25	1,5	1,5
	d_g	—	6,92	8,65	10,65	12,38	14,38
Резьба с крупным шагом	P	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,0
	d_g	4,92	6,65	8,38	10,12	11,84	13,84

Припуски на механическую обработку поверхностей, наращенных электролитическим железом (мм)

Способ обработки	Диаметры поверхностей, мм					
	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120
Внутреннее шлифование	—	—	0,32	0,35	0,40	0,45
Шлифование в патроне	—	0,56	0,66	0,75	0,87	0,99
Бесцентровое шлифование	0,13	0,15	0,15	0,16	0,18	0,19
Шлифование в центрах	0,15	0,17	0,17	0,19	0,20	0,22
Тонкое точение	0,12	0,13	0,15	0,15	0,16	0,16
Чистовое шлифование в центрах	0,15	0,17	0,17	0,19	0,20	0,22

Режимы полирования эластичными кругами

Полируемый материал	Окружная скорость эластичного круга, м/с	Давление круга на обрабатываемую поверхность	
		кгс/см ²	МПа
Хром, сталь, никель	25-35	1-2	0,1-0,2
Медь и ее сплавы	20-30	0,3-0,8	0,03-0,08
Алюминий	18-22	0,1-0,4	0,01-0,04
Пластмассы	12-15	0,1-0,2	0,01-0,02

Состав паст (% по массе) для полирования металлов и сплавов

Компоненты паст	Полируемые металлы и сплавы					
	хром, сталь, никель		сталь, никель, медь		алюминий, медь и их сплавы	
Окись хрома	73	40	—	36	—	—
Окись железа	—	—	73	37	49	36
Окись алюминия	—	—	—	—	—	36
Стеарин	17	40	19	—	18	8
Парафин	—	—	5	27	8	—
Церезин	—	—	2	—	—	13
Олеиновая кислота	10	10	1	—	25	3
Технический жир	—	10	—	—	—	4

Состав (%) и цвет паст ГОИ

Компонент	Паста			Цвет пасты
	грубая	средняя	тонкая	
Окись хрома	81	76	74	Грубая – от темно-зеленой до черной
Селикагель	2	2	1,8	
Стеарин	10	10	10	
Расщепленный жир	5	10	10	Средняя – темно-зеленая
Олеиновая кислота	—	—	2	
Керосин	2	2	2	Тонкая – светло-зеленая
Сода кальцинированная	—	—	0,2	
Размер зерна, мкм	35-17	16-18	7-1	

Рекомендуемая толщина цинковых покрытий

Группа условий эксплуатации	Толщина покрытия, мкм	Область применения
Л	3-6	Резьбовые крепежные детали с шагом до 0,4 мм, тонкие пружины
Л	6-9	Различные детали
С, Ж	9-12	Крепежные детали с шагом резьбы более 0,8 мм
С	15-18	Защита от коррозии различных деталей
Ж	24-30	
ОЖ	36-42	
<p>Группы условий эксплуатации по ГОСТ 14007-88. Легкие условия (Л): отапливаемые и вентилируемые помещения, относительная влажность $(65 \pm 15) \%$ при температуре $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Средние условия (С): неотапливаемые помещения, отсутствие атмосферных осадков, температура воздуха от -60 до $+60 \text{ }^\circ\text{C}$, относительная влажность $(93 \pm 3) \%$ при температуре $+30 \text{ }^\circ\text{C}$. Жесткие условия (Ж): эксплуатация на открытом воздухе, воздействие атмосферных осадков, загрязненных промышленными газами, относительная влажность $(95 \pm 3) \%$ при температуре $+35 \text{ }^\circ\text{C}$. Особо жесткие условия (ОЖ): длительное пребывание в воде, в атмосфере, насыщенной промышленными газами, тропические условия.</p>		

Толщина слоя цинкового покрытия, растворяемого одной каплей раствора в течение 60 с

t, °C	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
δ_k МКМ	1,05	1,09	1,14	1,18	1,24	1,27	1,32	1,36	1,40	1,45	1,52

Основные размеры стационарных гальванических ванн

Тип ванны	Размеры ванны, мм			Рабочий объем, л
	<i>L</i>	<i>Ш</i>	<i>H</i>	
1	2	3	4	5
01	500	400	480	80
02	600	400	500	100
03	600	500	600	150
04	650	500	670	200
05	600	550	800	250
06	800	700	800	400

Окончание прил.9

1	2	3	4	5
07	1200	700	800	600
08	1500	700	800	750
09	800	700	1000	550
10	1200	700	1000	800
11	1500	700	1000	1000
12	1500	1000	1000	1300
13	2200	700	1000	1400
14	2200	1000	1000	2000

Приложение 10

Сравнительные характеристики выпрямительных агрегатов

Тип агрегата	Номинальная сила тока, А	Напряжение, В	Габариты в плане, мм	Масса, кг
ВУ-12/600 Б	600	12	850×600	150
ВАГГ-7,2-12/6	600	6-12	800×700	180
ВСМР-1200-6	1200	0-6	600×550	250
ВАС-600/300	300-600	12-24	612×570	170
ВАКГ-12/6-600	600	12	550×450	105
ВАК-100-12У4	100	6-12	850×570	190
ВАКР-320-18У4	320	9-18	870×530	230
ВАКР-630-12У4	630	6-12	850×550	260
ВАКГР-12/6-600	600	6-12	960×590	275
ТЕ1-100/12Т-0	100	0-12	600×400	135
ТЕ1-400/24Т-0	400	0-24	1000×400	360
ТЕ1-800/24Т-0	800	0-12-24	1000×600	475
ТВ1-1600/12Т-0	1600	0-12	1000×650	510
ТЕР1-400/12Т-0	400	0-12	1000×400	345
ТЕР1-800/24Т-0	800	12-24	1000×600	530
ТВР1-1600/12Т	1600	0-12	1000×680	525

Площади гальванических покрытий при ремонте грузовых автомобилей грузоподъемностью 4 т, дм²

Ремонтируемый объект	Вид гальванических покрытий				
	хроми- рование	оста- лива- ние	медне- ние	никели- рова- ние	цин- ко- вание
Полнокомплектный авто- мобиль	3,0	6,0	2,7	6,0	15,0
В том числе:					
двигатель со сцеплением	0,8	1,0	0,6	—	—
коробка передач	0,5	1,2	0,5	—	—
задний мост	0,7	1,8	0,7	—	5,0
передний мост	0,8	1,6	0,5	—	5,0
рулевое управление	0,1	0,2	0,2	—	—
карданная передача	0,1	0,2	0,2	—	—

Площади декоративных гальванических покрытий при ремонте автобусов и легковых автомобилей (дм²)

Вид покрытия	Автобусы	Легковые ав- томобили
Защитно-декоративное хромирование	179...420	34...154
Меднение	179...450	43...135
Защитно-декоративное никелирование	60...380	80...120

Коэффициент многованного обслуживания

Вид покрытия	η_{mo}
Износостойкое хромирование	6...8
Декоративное хромирование	0,8...1,0
Осталивание	1,0...2,0
Меднение, цинкование, никелирование	2,0...3,0

**Средства технологического оснащения участка восстановления
осталиванием золотников гидравлических распределителей**

№ п/п	Наименование	Кол-во
1	2	3
	Технологическое оборудование	
1	Этажерка для подвесных приспособлений	1
2	Ящик для экранов	1
3	Стеллаж для деталей секционный	1
4	Стеллаж для бутылей с дистиллированной водой	1
5	Ванна для фильтрации электролита	1
6	Ванна для анодов и катодов	1
7	Стеллаж для инвентаря	1
8	Ванна нейтрализации	1
9	Ванна химико - механического обезжиривания	1
10	Ванна промывки холодной водой двухсекционная	1
11	Ванна осталивания	2
12	Ванна промывки теплой водой	1
13	Ванна анодной очистки	1
14	Ванна анодного травления	1
15	Ванна электрохимического обезжиривания	1
16	Ванна для мойки деталей	1
17	Ванна промывки анодов	1
18	Ванна для масла	1
19	Шкаф вытяжной	1
20	Стол монтажный	1
21	Стол лабораторный	1
22	Лабораторный рН-метр рН-262	1
23	Дистиллятор Д-4 (мод.737)	1
24	Регулятор напряжения (автотрансформатор трехфазный) РНТ-220-12	3
25	Трансформатор ТПО-2,5/80	1
26	Выпрямительный агрегат ВАС-600/300	3
27	Регулятор напряжения (автотрансформатор однофазный) РНО-250-10	1
28	Трансформатор сварочный ТДМ-401У2	3
	Технологическая оснастка	
1	Корзинка для деталей	3
2	Электрод ванны электрохимического обезжиривания	2...4
3	Подвеска для анода	4...6
4	Анод растворимый	5...8

1	2	3
5	Чехол анодный	12...16
6	Электрод системы нагрева	6
7	Анод для проработки электролита	4...6
8	Катод для проработки электролита	2...4
9	Приспособление для фильтрации электролита	2
10	Насос плавающий кислотостойкий	1
11	Катод ванны анодной очистки	2...4
12	Подвески для осталивания золотников гидрораспределителей по номенклатуре восстанавливаемых золотников)	Для каждой модели 3...5
13	Подвески для осталивания (по номенклатуре восстанавливаемых прочих деталей)	По потребности
14	Тиски слесарные 7827-0258 ГОСТ 4045-75	1
15	Нагубники медные	1
16	Напильники 2820-0018, 2821-0069 ГОСТ 1465-80	1+1
17	Шило 2x20, 3x25 изогнутое	1+1
18	Ножницы бытовые 200 мм	1
19	Молоток слесарный стальной с квадратным бойком № 4 ГОСТ 2310-77Е	1
20	Отвертка слесарная 1x6x200, 1x8x250 ГОСТ 17199-71Е	1+1
21	Плоскогубцы комбинированные ГОСТ 5547-86Е	1
22	Нож слесарный 200 мм	1
23	Молоток с полукруглым бойком 200 г	1
24	Щетка стальная (кордовая) 40x250	3
25	Ключи гаечные с открытым зевом двухсторонние 10x12, 12x14, 14x17, 17x19, 19x22 ГОСТ 2839-80Е	5x1
26	Штангенциркуль ШЦ-1-125-0, 1-2 ГОСТ 166-80	1
27	Линейка измерительная стальная 150 (300) мм ГОСТ 427-75	1
28	Часы настольные механические «Маяк» ГОСТ 3309-84	1
29	Термометр ртутный, стеклянный, контактный с магнитной регулировкой типа ТПК (ТК-6) (0...100 °С)	5
30	Пистолет для обдувки деталей сжатым воздухом (мод. 199)	1
31	Ершик волосяной Ø 8...12 мм	5
32	Пробки (заглушки резиновые)	По потребности
33	Экраны (втулки) изоляционные	
34	Кисть волосяная Ø 20...30 мм ГОСТ 10597-87	2
35	Кисть капроновая Ø 30...40 мм	4
36	Лопатка для перемешивания электролита	2
37	Ведро полиэтиленовое (эмалированное) 8...10 л	3

Окончание прил.14

1	2	3
38	Пипетки 5, 10, 15, 20, 25 мл ГОСТ 20292-74Е	5x2
39	Капельница стеклянная с клювиком ЗС-7, 5ХС ГОСТ 25336-82	2
40	Ареометр аккумуляторный с пипеткой АЭ-1 ГОСТ 18481-81Е	2
41	Кружка полиэтиленовая (фарфоровая) 1000 мл	3
42	Бюретка объемная 50 мл ГОСТ 20292-74Е	4
43	Штатив лабораторный для бюреток с лапками и муфтами в сборе	1
44	Бутыль стеклянная 20 л	6
45	Электроплитка ПС-800/3-Н ГОСТ 14919-83Е	1
46	Кастрюля эмалированная 5...8 л ГОСТ 27788-81	2
47	Воронка стеклянная лабораторная В-56-80, В-100-150, В-150-230 ХС ГОСТ 25336-82	3x1
48	Колба коническая плоскодонная Кн-2-100-18, Кн-2-250-18, Кн-2-500-38 ТХС ГОСТ 25336-82	3x2
49	Стакан стеклянный лабораторный с носиком и делениями В-1-250, В-1-600, В-1-1000, В-1-100 ТС ГОСТ 25336-82	4x2
50	Стакан фарфоровый 1000 мл ГОСТ 8147-80Е	2
51	Бутыль из желтого стекла 1000 мл	3
52	Бутыль из светлого стекла 1000 мл	4
53	Груша резиновая 250, 500 мл	2+2
54	Колба мерная стеклянная лабораторная 250, 500 мл ГОСТ 1770-74Е	1+1

Приложение 15

**Предельно допустимые концентрации ядовитых газов
и паров в помещении гальванического участка**

Вредная примесь в воздухе	Предельная допустимая концентрация, мг/л
1	2
Хромовый ангидрит и другие соединения хрома	0,0001
Цианистый водород (синильная кислота)	0,0003
Фосфористый водород	0,0003
Оксид углерода (угарный газ)	0,02
Оксид этилена	0,001
Хлористый водород (соляная кислота)	0,1

1	2
Плавиковая кислота, фтористый водород и его соли	0,001
Азотная кислота	0,002
Серная кислота и серный ангидрид	0,002
Хлор	0,001
Марганец и его соединения	0,0003
Четыреххлористый углерод	0,05
Дихлорэтан, трихлорэтилен	0,05
Фенол	0,005
Сероводород	0,01
Сернистый газ	0,02
Окислы азота (в пересчете на NO ₂)	0,005
Окись цинка	0,005
Ртуть металлическая	0,00001
Свинец и его неорганические соединения	0,00001
Сулема	0,0001
Мышьяковистый водород	0,0003
Бензин, керосин, уайт-спирит, минеральные масла	0,3
Спирт метиловый	0,05
Аммиак	0,02
Анилин, толуидин	0,005
Ацетон	0,2

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ПО ГАЛЬВАНОТЕХНИКЕ.....	4
1.1. Сущность процесса электролитического осаждения металлов.....	4
1.2. Основные законы электролиза.....	6
1.3. Электродные потенциалы и поляризация	7
1.4. Механизм формирования электролитических осадков.....	10
1.5. Скорость электроосаждения металла	11
1.6. Распределение покрытия на катоде	13
1.7. Защита деталей от коррозии	14
Контрольные вопросы.....	16
Глава 2. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ НАРАЩИВАНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ.....	17
2.1. Покрытия, применяемые в ремонте производстве.....	17
2.2. Технологические факторы процесса электроосаждения.....	18
2.3. Структура и микротвердость гальванических покрытий.....	21
2.4. Выполнение технологических расчетов	26
2.5. Структура технологического процесса восстановления деталей гальваническими покрытиями	30
2.6. Способы электроосаждения металлов.....	43
Контрольные вопросы	48
Глава 3. УСТРАНЕНИЕ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ ХРОМИРОВАНИЕМ.....	50
3.1. Свойства электролитического хрома.....	50
3.2. Номенклатура восстанавливаемых деталей.....	51
3.3. Особенности процесса хромирования	51
3.4. Технология хромирования.....	52
3.5. Недостатки хромирования, пористое хромирование.....	55
3.6. Специальные способы хромирования.....	60
Контрольные вопросы.....	64
Глава 4. УСТРАНЕНИЕ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ ОСТАЛИВАНИЕМ.....	65
4.1. Осталивание деталей и его технико-экономические показатели... ..	65
4.2. Свойства ТЭЖ и номенклатура восстанавливаемых деталей.....	66
4.3. Применяемые электролиты и параметры процесса электроосаждения	66
4.4. Технология осталивания.....	67
4.5. Роль подготовительных операций в структуре технологического процесса осталивания.....	75
4.6. Специальные способы осталивания.....	79
4.7. Анализ надежности осталивания по параметру "прочность сцепления".....	85
Контрольные вопросы	89
Глава 5. ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫЕ ПОКРЫТИЯ.....	91
5.1. Понятие о защитно-декоративных покрытиях и их применение... ..	91

5.2.	Защитные и декоративные свойства хрома и никеля.....	91
5.3.	Типы защитно-декоративных покрытий.....	92
5.4.	Особенности технологии наращивания защитно - декоративных покрытий.....	93
5.5.	Технология двухслойного защитно-декоративного хромирования	97
	Контрольные вопросы	105
Глава 6.	ЗАЩИТНОЕ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ ЦИНКОВАНИЕ.....	106
6.1.	Свойства и применение цинковых покрытий.....	106
6.2.	Особенности электролитического цинкования.....	107
6.3.	Повышение антикоррозионных свойств цинковых покрытий	111
6.4.	Технология защитного цинкования.....	112
	Контрольные вопросы	121
Глава 7.	ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ МЕДНЕНИЕ.....	122
7.1.	Свойства медных покрытий.....	122
7.2.	Электролиты меднения и применение медных покрытий.....	122
7.3.	Технологический процесс меднения	123
	Контрольные вопросы.....	125
Глава 8.	ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ СПЛАВОВ.....	126
8.1.	Условия совместного электроосаждения металлов.....	126
8.2.	Сплавы железа	127
8.3.	Сплавы меди.....	128
8.4.	Сплавы свинца	130
	Контрольные вопросы.....	131
Глава 9.	ОБОРУДОВАНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ УЧАСТКОВ.....	132
9.1.	Особенности конструкции гальванических ванн.....	132
9.2.	Электрическое питание гальванических ванн.....	137
9.3.	Вспомогательные ванны.....	143
9.4.	Подвесные приспособления	146
	Контрольные вопросы	149
Глава 10.	ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ УЧАСТКОВ.....	150
10.1.	Нормирование гальванических работ.....	150
10.2.	Проектирование гальванических участков.....	153
10.3.	Тепловой расчет ванн.....	159
10.4.	Разработка планировочного решения.....	164
10.5.	Расчет приточно-вытяжной вентиляции.....	168
10.6.	Охрана труда и техника безопасности.....	174
	Контрольные вопросы.....	178
	Библиографический список.....	179
	Приложения	180

Учебное издание

Крылов Виктор Федорович

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
В АВТОРЕМОНТНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Учебное пособие

* * *

Редактор И. Г. Кузнецова

Компьютерный набор, верстка и дизайн
выполнены Л.Н. Бухаровым

* * *

Подписано в печать 3.06.04
Формат 60x90 1/16. Бумага писчая
Оперативная печать. Гарнитура Таймс.
Усл. п.л. 11,9, уч.-изд. л. 11,9 Тираж 300 экз.
Заказ Цена договорная

Издательство СибАДИ
644099, г. Омск, ул. П. Некрасова, 10
Отпечатано в ПЦ издательства СибАДИ
644099, г. Омск, ул. П. Некрасова, 10

