

## Глава 5

# УПРОЧНЕНИЕ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ И РАСТВОРЕНИЯ

### Хромирование

Твердое износостойкое электролитическое хромирование применяют для повышения износостойкости и восстановления деталей машин, контрольного, измерительного и режущего инструмента, а также формообразующих элементов штампов и пресс-форм, дыропробивных пуансонов и матриц. Типовой технологический процесс хромирования выполняют по схеме: электрохимическое анодное либо химическое обезжиривание; промывка в теплой воде, промывка в холодной воде; декапирование; промывка в холодной воде; анодная обработка; хромирование; улавливание хрома из электролита; обработка в растворе метабисульфита натрия; промывка в холодной воде, сушка; обезводороживание (по мере надобности). Хромируемую поверхность предварительно шлифуют или полируют.

Электрохимическое обезжиривание проводят под воздействием постоянного тока в щелочных растворах следующего состава, кг/л воды: едкий натр 0,025-0,035; сода кальцинированная 0,025-0,035; тринатрийфосфат 0,010-0,020; жидкое стекло 0,003-0,005. Аноды изготавливают из никелированной или обычной стали, а также никеля. Процесс электрохимического обезжиривания проводят при температуре 80-90 °С, плотности тока 500-1000 А/м<sup>2</sup> и напряжения источника тока 12 В. Продолжительность обработки на катоде составляет 1,5-3 мин, на аноде – 0,5-1 мин. При обработке в барабанах напряжение на источнике тока устанавливается 16 В; продолжительность обработки на катоде в этом случае составляет примерно 5 мин. Составы растворов для химического обезжиривания и режимы обработки приведены в табл. 1.

Промывку в воде проводят для удаления с деталей продуктов реакции или растворов, оставшихся на поверхности после электрохимического обезжирива-

#### 1. Составы растворов и режимы химического обезжиривания

Номер состава	Содержание кг/л воды				
	Едкого натра	Кальцинированной соды	Тринатрий-фосфата	Эмульгатора ОП-7 или ОП-10	Сульфонола
1	0,01 – 0,02	-	0,01 – 0,02	0,002 – 0,004	-
2	0,004 – 0,06	-	-	0,002 – 0,004	-
3	-	0,05	-	-	0,05
Номер состава	Режим обработки				
	Температура, °С	Продолжительность, мин	Давление, МПа	Способ обработки	
1	60-70	1-3	0,2-0,3	Струйный	
2	60-70	5-10	-	Погружением	
3	70-95	5-15	-	»	

ния, декапирования и обработки хромированных деталей в растворе метабисульфита натрия.

При повышенном количестве солей жесткости в водопроводной воде (свыше  $15 \cdot 10^{-6}$  кг/л) последнюю промывку перед хромированием и перед сушкой следует проводить в конденсате или деминерализованной воде. Детали промывают водяным душем или их погружением в ванну, оборудованную устройством для перемешивания деталей и раствора с помощью воздуха. Допускается применение обоих способов: сначала – погружением, а затем – под душем. При двукратной промывке погружением после декапирования подачу воды осуществляют каскадно (противотоком), чистую воду подают только во вторую промывную ванну, из которой она самотеком перетекает в первую ванну. В канализацию воду следует спускать из первой ванны. Режимы промывки приведены в табл. 2.

В тех случаях, когда упрочняемая поверхность после обезжиривания остается загрязненной окалиной, ржавчиной, оксидами, ее подвергают травлению.

Для **травления** черных металлов применяют растворы серной или соляной кислоты, иногда – смесь этих растворов (табл. 3).

## 2. Режимы промывки в воде

Вода	Режим промывки	
	Температура, °С	Продолжительность, мин
Холодная (водопроводная питьевая или деминерализованная)	10-25	0,15-3
Теплая (водопроводная питьевая, конденсат или деминерализованная)	50-60	0,15-3
Горячая (водопроводная питьевая, конденсат или деминерализованная)	80-90	0,15-3

## 3. Растворы для химического травления стали и чугуна

Компонент раствора	Содержание, г/л	Температура, °С	Область применения
1. Серная кислота Каталин Синтанол ДС-10 или сульфонол НП-3	150-250 3-5 3-5	40-80	Для травления стали и чугуна
2. Серная кислота Соляная кислота Уротропин Сульфонол НП-3	175-200 80-100 40-50 3-5	40-50	
3. Соляная кислота	150-350	15-45	Для бесшламного травления сталей
Уротропин Соляная кислота Каталин	40-50 200-220 5-7	15-30	Для травления поверхностей первого-второго класса точности
4. Серная кислота Иодистый калий Каталин	100-200 0,8-1,0 8-10	60-80	То же, с участием окалины

Продолжение табл. 3

Компонент раствора	Содержание, г/л	Температура, °С	Область применения
5. Серная кислота Соляная кислота	15-20 35-40	60-70	Для травления термообработанных углеродистых сталей
6. Едкий натр Азотнокислый натрий	400-600 100-200	135-145	Для разрыхления окалины на термообработанных стальных пружинящих изделиях

**Примечание.** Продолжительность обработки устанавливается в зависимости от характера и толщины слоя окислов.

При травлении растворяются как оксиды, так и сам металл. В последнем случае выделяется водород, который диффундирует в металл, увеличивая его хрупкость.

Для предотвращения растворения основного металла в травильные растворы вводят ингибиторы (катапин, уротропин и др.).

Травление коррозионно-стойких сталей наиболее часто проводят в растворах, приведенных в табл. 4. Термообработанные изделия травят только после разрыхления окалины.

**Снятие травильного илама.** При травлении сталей на их поверхности остается *илам*, который должен быть удален специальными растворами (табл. 5) перед нанесением гальванических покрытий.

#### 4. Растворы для травления коррозионно-стойких сталей

Компонент раствора	Содержание, г/л	Температура, °С	Продолжительность, мин	Применение
1. Едкий натр Азотнокислый натрий	400-600 200-250	135-145	30-150	Для разрыхления окалины
2. Марганцево-кислый калий Едкий натр	35-50 140-250	От 80 до температуры кипения	30-90	
Фтористоводородная кислота	15-50			
Азотная кислота	50-150	15-30	До 60	Для удаления окалины со сталей 12Х18Н9Т
Азотная кислота Фтористый натрий Хлористый натрий	220-240 20-25 20-25	15-30	До 60	
Соляная кислота	90-110	40-45	10-15	Для последовательной обработки сталей 20Х13
Серная кислота Азотная кислота Соляная кислота	350-450 70-90 70-90	40-45	1-2	

### 5. Растворы для снятия травильного шлама

Компонент раствора	Содержание, г/л	Температура, °С	Продолжительность, мин	Обрабатываемая сталь
Азотная кислота Серная кислота	70-80 80-100	15-30	До 0,8	Углеродистая
Серная кислота Хромовый ангидрид Хлористый натрий	15-30 70-120 3-5		5-10	Средне- и низколегированная
Фтористоводородная кислота	4-5			Коррозионностойкая
Азотная кислота	350-400		1-20	Любая
Едкий натр*	50-100	60-80	1-3	

\* Для анодного снятия шлама при плотности тока 5-10 А/дм<sup>2</sup> с использованием стальных катодов.

**Декапирование, или активация поверхности.** Для обеспечения прочного сцепления покрытия с основным металлом применяют легкое травление (химическое или электролитическое) – *активацию поверхности*, или декапирование (табл. 6).

После активации детали быстро промывают в проточной воде и переносят в гальваническую ванну для нанесения покрытий.

**Твердое износостойкое хромирование** проводят в стандартном универсальном разведенном электролите различной концентрации либо в саморегулирующемся. Состав электролитов и режимы обработки приведены в табл. 7.

Скорость хромирования (выход хрома по току) можно ускорить [а. с. 264094 (СССР)]. При хромировании в потоке стандартного электролита (например, в обычном сульфатном, тетрахроматном или др.) скорость потока электролита поддерживают в пределах 1-5 м/с при плотности тока 200-2000 А/дм<sup>2</sup> и соотношении между этими величинами от 1 : 200 и до 1 : 40. При этом выход хрома по току составляет 45-60% и более чем в 10 раз возрастает скорость осаждения хромового покрытия. Полученные по описанному способу осадки хрома имеют высокое качество и микротвердость 1050-1150 НV.

Перед хромированием изделия необходимо прогреть непосредственно в ванне для хромирования, а затем анодно декапировать в течение 0,5-1 мин при плотности тока 3500-4000 А/м<sup>2</sup>. При хромировании изделий сложной формы на 1-2 мин увеличивают плотность тока в 2 раза.

### 6. Режимы химического декапирования

Содержание кислоты, г/л воды	Режим декапирования	
	Температура, °С	Продолжительность, мин
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,4-0,6	18-25	0,25-3
HCl 0,09-0,11		0,25-0,5

### 7. Составы электролитов, режимы обработки, материал анодов для хромирования

Электролит	Содержание, кг/л					
	CrO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	SrSO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	NaSiF <sub>6</sub>
Разведенный	0,125-0,200 0,120-0,150	(1,25÷2,00) 10 <sup>-3</sup> (1,00÷1,50) 10 <sup>-3</sup>	- -	- -	- -	- -
Универсальный	0,200-0,300 0,200-0,250 0,300-0,350	(2,00÷3,00) 10 <sup>-3</sup> (2,5÷2,5) 10 <sup>-3</sup> -	- - -	- - -	(20÷25) 10 <sup>-3</sup> -	- - (6±8) 10 <sup>-3</sup>
Саморегулирующийся	0,250-0,300 0,200-0,300 0,250	- - -	0,008 0,018-0,020 0,020	6,0 · 10 <sup>-3</sup> (5,5÷6,5) 10 <sup>-3</sup> 6,0 · 10 <sup>-3</sup>	- - -	- - -
Электролит	Режим обработки		Скорость осаднения хрома, мкм/мин	Материал анодов		
	Температура, °С	Плотность тока, А/м <sup>2</sup>				
Разведенный	45-60	4500-6000	0,6	Сплав свинец – сурьма (Sb до 8%) или свинец – олово (Sn до 10%)		
	45-55	3000-4000	-	Свинец (для внутренних фигурных анодов), сталь (для внутренних анодов при хромировании узких отверстий)		
Универсальный	45-55	2000-5500	0,2-0,7	Сплав свинец – сурьма (Sb до 8 %) или свинец – олово (Sn до 10%), свинец (для внутренних фигурных анодов), сталь (для внутренних анодов при хромировании узких отверстий)		
Саморегулирующийся	55-60	5000-8000	1,0	Сплав свинец – олово (Sn до 10%)		
	50-60	5000-8000	-			
	55-65	4000-8000	-			

Толщина наносимого хромового покрытия составляет, мкм: 30-100 для гладких мерительных инструментов; 2-20 для резьбовых калибров; 40-100 для пресс-форм, матриц и пуансонов. Износостойкость режущего инструмента в результате хромирования увеличивается в 2-3 раза, контрольно-измерительного инструмента – в 5-10 раз. Микротвердость осаждаемого хрома 900-1000 НВ.

После хромирования необходимо улавливать хром из электролита, промывая детали в течение 0,15-3 мин в ванне с непроточной водой без подогрева. Получающиеся концентрированные растворы добавляют в ванну хромирования. При накоплении в растворе более 0,001 кг/л воды трехвалентного хрома раствор меняют. Водопроводную воду, имеющую жесткость более 15 × 10 кг/л воды, для промывки деталей после хромирования использовать нельзя; вместо нее применяют конденсат или деминерализованную воду. Хромированные детали после промывки в ванне следует обработать в течение 0,15-1 мин в 15%-ном растворе метабисульфита (пиросульфита) натрия, который восстанавливает оставшийся на поверхности деталей шестивалентный хром до трехвалентного, в результате чего предотвращается попадание шестивалентного хрома в сточные воды. Для удаления с деталей влаги, которая остается на их

поверхности после промывки в воде, проводят сушку. Способы и режимы сушки приведены в табл. 8.

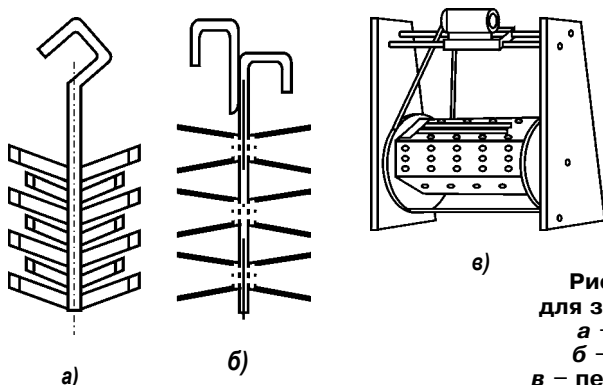
Детали технологической оснастки из легированных сталей подвергают термической обработке для снятия напряжений, возникающих в результате наводороживания. Процесс ведут при температуре 180-200 °С в течение 1,5 ч преимущественно в масляной ванне.

Хромирование проводят в стационарных стальных ваннах, футерованных листовым винипластом. Обрабатываемые изделия служат катодом. В качестве источников тока применяют низковольтные генераторы постоянного тока, вырабатывающие ток напряжением 6; 12 или 9 В и силой 250-10 000 А. Для электропитания ванн применяют также селеновые выпрямители, состоящие из понижающего трансформатора и набора селеновых выпрямительных шайб.

Для загрузки изделий в ванну используют специально контактные приспособления (рис. 28) – подвески, барабаны. При конструировании и изготовлении подвесок необходимо учитывать следующие основные требования к ним: материал подвесок (электролитическая медь) должен иметь такое сечение, при котором обеспечивается подвод тока соответствующей силы; подвеска должна иметь хороший контакт с покрываемыми деталями и катодной штангой ванны; детали в подвесках должны быть расположены так, чтобы они не экранировали одна другую, а образовавшиеся газы легко удалялись от поверхности деталей, не создавая “газовых мешков”; для устранения возможности покрытия подвески осаждаемым металлом она должна быть покрыта изоляционным материалом, за исключением мест контакта (табл. 9); конструкция подвески должна способствовать рациональному использованию объема ванны; монтаж и демонтаж деталей с подвесок должен выполняться без затруднений.

#### 8. Рекомендуемые режимы сушки хромированных деталей

Способ сушки	Температура, °С	Продолжительность, мин
Обдувка сжатым воздухом	18-25	0,5-3
В сушильном шкафу	85-100	5-10



**Рис. 28. Приспособления для загрузки деталей в ванну:**  
 а – штыревая подвеска;  
 б – пружинная подвеска;  
 в – переносный винипластовый барабан с электроприводом

### 9. Материалы для изоляции поверхностей, не подлежащих покрытию хромом

Изолирующий материал	Среда	Температура, °С	Нанесение покрытия	Способ удаления
<i>Масличные</i>				
Натуральный воск 37,5-65% Парафин 12,5-25% Канифоль 50-10%	Кислые и щелочные электролиты	35	Наносят 1-2 слоя кистью, шпателем или окунанием при температуре состава 80-90 °С. Сушить на воздухе	Основная часть мастики снимается в кипящей воде, остатки – в растворе ТМС-31 (50-80 г/л) при температуре 70-80 °С в течение 1-2 мин
Натуральный воск 50-70% Канифоль 30-50%				
Канифоль 33,3% Церезин 30% Парафин 36,7%				
<i>Пленочные</i>				
Грунт ХСГ-26	Кислые и слабощелочные электролиты	35	Наносить в 3-4 слоя пульверизатором или окунанием с промежуточной сушкой каждого слоя в течение 10-20 мин при температуре 45-55 °С	Основная часть изоляции отделяется после обработки в горячей воде, остатки изоляции снимаются в органическом растворителе
Эмали ПХВ-1, ПХВ-29, ХСЭ-23, ХСЭ-26				
Лаки ХСП – ХВЛ-21, растворитель РМ				
Лак АК-113ф, растворитель 647 Клей БФ-4, растворитель этиловый спирт	Щелочные электролиты и органические растворители	80	Окончательная сушка – при комнатной температуре от 1 до 3 ч в зависимости от материала	Основная часть изоляции отделяется после обработки в горячей воде, остатки изоляции снимаются в органическом растворителе
Нитроклей АК-20, растворитель РДВ или ацетон	Кислые электролиты	98	После высыхания слой изоляции должен образовывать ровную гладкую пленку без морщин, оспин, потеков	Снимается при погружении в горячую (температура –90 °С) ванну, остатки изоляции снимаются в соответствующем растворителе
Эпоксидный лак ЭП-730, растворитель – ацетон, резиновый клей, пластироль “Диаплазоль-2А”	Цианистые электролиты	40		
<i>Специальные наклейки</i>				
Винилпласт, плексиглас, целлулоид, коррозионно-стойкая сталь, полиэтиленовые и хлорвиниловые пленки	Кислые электролиты	100	Закрываются поверхности, не подлежащие покрытию	Снимаются вручную

В производственных условиях возникает необходимость в местном электролитическом хромировании безваннным способом крупногабаритных деталей (валов, цилиндров, штоков и др.); исправлять дефекты на хромовом покрытии

(сколы, риски, непокрытые участки) без его полного снятия и повторного нанесения, а также восстанавливать изношенные поверхности до первоначальных размеров. Например, для выполнения местного хромирования изношенной шейки вала изготавливают цилиндрический анод из стали X18H10T, который монтируют на вал, подлежащий хромированию (рис. 29). Изоляцию анода от детали выполняют виниловыми прокладками. В полость, образованную анодом, поверхностью вала и специальным поддоном, заливают электролит, предварительно уложив уплотнения из резины.

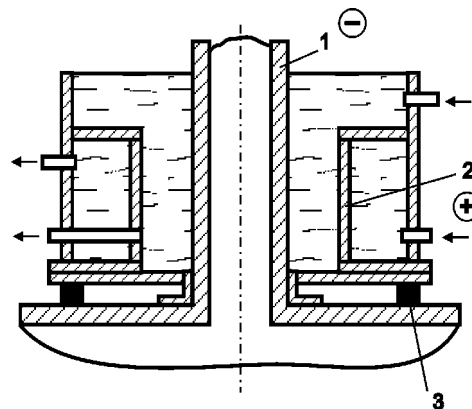
Хромирование вала проводят в потоке электролита, который подают в полость из небольшой стационарной емкости через верхний патрубок с помощью кислотостойкого насоса; сливают электролит через нижний патрубок. Во избежание перегрева электролита в процессе электролиза анод охлаждают подачей холодной воды противотоком в полость анода со скоростью 0,5 л/мин. При площади хромирования, например, равной 0,2 м<sup>2</sup>, объем полости с охлаждающей водой равен 15 л, с электролитом 75 л. Перед хромированием рабочую поверхность обрабатывают резанием до получения параметра шероховатости  $Ra$  0,63 мкм.

Перед нанесением покрытия поверхность обезжиривают бензином и кашцей из венской извести, промывают проточной водой. Устанавливают приспособление на вал, проверяют надежность изоляции между приспособлением и деталью с помощью омметра; вал и приспособление подключают к источнику тока. Окончательно обезжиривают место на валу, подлежащее хромированию, протирая его салфетками – сначала смоченной спиртом, а затем сухой. Полость между приспособлением и поверхностью вала заполняют электролитом, циркулирующим без наложения постоянного тока. Одновременно нагревают вал до 50 °С, например, подачей горячего воздуха в его внутреннюю полость или иным способом. Температуру в процессе электролиза поддерживают охлаждением анода.

Перед хромированием проводят анодное декапирование в течение 30-40 с при плотности тока А/дм<sup>2</sup>, затем включают прямой ток (80 А/дм<sup>2</sup>) на 1-2 мин. Режим нанесения износостойкого хромирования: плотность тока 35-40 А/дм<sup>2</sup>, температура электролита 46-53 °С. Продолжительность хромирования в стандартном электролите устанавливают из расчета скорости осаждения хрома толщиной 1 мкм в течение 2,6 мин.

После хромирования получают гладкий, равномерный, хорошо сцепленный с основным металлом осадок хрома толщиной от 50 до 150 мкм. Для местного хромирования применяют стандартный электролит (250 г/л хромового ангидрида, 2,5 г/л серной кислоты) или электролит следующего состава, г/л: хромовый ангидрид 450-500; сернокислый кобальт 20-25; фтористый кальций 90-100; алюмокалиевые квасцы 8-10.

Хромовое покрытие, осажденное из электролита, беспористое,



**Рис. 29. Схема монтажа анода при хромировании шейки вала:**  
**1 – хромируемая часть вала;**  
**2 – полый цилиндрический анод;**  
**3 – прокладки**



при толщине слоя 50 мкм имеет хорошую адгезию, легко полируется. Скорость осаждения хрома в электролите 60 мкм/ч. Микротвердость покрытия 537-559 HV. Электролит устойчив в работе, не требует предварительной проработки, достаточно производителен, добавки в него недефицитны.

При контроле качества хромированных изделий проверяют внешний вид, прочность сцепления с основным металлом и толщину покрытия. Твердость и износостойкость покрытия контролируют при наличии указаний на чертеже или карте технологического процесса изготовления детали или инструмента. Контроль внешнего вида покрытия выполняют поштучно осмотром деталей невооруженным глазом, используя в отдельных случаях эталоны сравнения. На поверхности покрытия деталей не допускается наличие трещин, сколов, сквозных черновин, отслаиваний, дендритов. Допускаются разнотолщинность и разнотонность цвета покрытия на различных участках поверхности.

Контроль толщины хромовых покрытий проводят приборами, не разрушающими покрытия, в местах, наиболее затрудненных для прохождения тока и осаждения на них металла: на центральных участках плоскостей, вогнутых поверхностях, участках, близких к внутренним углам, и т. п. Толщина покрытия на указанных участках должна быть не менее предусмотренной стандартами или техническими требованиями чертежа. Изделия с толщиной покрытия, меньшей допустимой, отправляют на повторное хромирование.

Причины и способы устранения дефектов хромирования в сульфатных электролитах приведены в табл. 10.

После хромирования целесообразно проводить обезводороживание высокопрочных сталей, сталей, склонных к водородному охрупчиванию, при температуре 170-180 °С в течение 1-1,5 ч.

#### 10. Причины и способы устранения дефектов при хромировании в сульфатных электролитах

Дефект покрытия	Причина возникновения	Способ устранения
Отслаивание хромового покрытия вместе с никелевым	Плохая подготовка поверхности перед никелированием	Улучшить качество подготовки поверхности
	Нарушение режима никелирования	Устранить неполадки перед никелированием
Отдельные участки поверхности деталей не покрывают хромом	Низкая плотность тока	Увеличить ток на ванне
	Экранирование отдельных участков поверхности деталей, скопление газа при хромировании	Перераспределить детали на подвеске, устранить экранирование, изменить расположение деталей в ванне
	Наличие отверстий вблизи непокрытых мест	Отверстия закрыть свинцовыми пробками
Отдельные точки на хромированной поверхности	Поры и раковины в основном металле	Улучшить механическую подготовку деталей
Подгар на выступающих участках и краях деталей	Высокая местная плотность тока	Снизить среднюю плотность тока или защитить выступающие участки экранами
Высокое напряжение на ванне	Образование толстой пленки на анодах	Удалить пленку с анодов

Продолжение табл. 10

Дефект покрытия	Причина возникновения	Способ устранения
Темный осадок, прекращение осаждения хрома, растворение свинцовой футеровки	Присутствие азотной кислоты	Проработать электролит в течение 3-4 ч при высоких плотностях тока, при большой концентрации азотной кислоты сменить электролит
Темный цвет покрытия	Недостаточный нагрев деталей	Обеспечить нормальный прогрев деталей
	Недостаточная концентрация серной кислоты	Добавить необходимое количество серной кислоты
Темный осадок, образование пятен	Повышенное содержание трехвалентного хрома	Увеличить отношение площади анодов к площади деталей
	Повышенное содержание железа	Провести частичную замену электролита
Быстрое увеличение концентрации трехвалентного хрома	Неправильно выбрано соотношение площадей катода и анода	Увеличить анодную или уменьшить катодную поверхность
Отсутствие покрытия на внутренних участках поверхности деталей	Неправильно установлены дополнительные аноды	Устранить дефекты монтажа деталей и анодов

### Никелирование

В типовой технологической процесс *электролитического никелирования* входят следующие операции: обезжиривание в органическом растворителе; сушка или обезжиривание химическое; промывка в теплой воде; обезжиривание электрохимическое; промывка в теплой воде; промывка в холодной воде; декапирование; промывка в холодной воде; никелирование электрохимическое; улавливание, промывка в холодной воде; промывка в горячей воде; сушка, контроль. Никелируемую поверхность предварительно шлифуют или полируют.

Для снятия различных полировальных и шлифовальных паст, масел, смазочных материалов, находящихся на поверхности деталей, проводят обезжиривание в органических растворителях (бензине, уайт-спирите, керосине) путем последовательного погружения в одну-три емкости, под душем или протиркой волосяными щетками либо ватным тампоном. После обезжиривания в бензине рекомендуется сушка на воздухе, а после обработки уайт-спиритом – промывка в горячей воде. Для износостойкого никелирования применяют сульфатные электролиты. Составы электролитов и режимы обработки приведены в табл. 11.

Составы электролитов для матового и блестящего никелирования даны в табл. 12 и 13. При приготовлении электролита каждый из его компонентов предварительно растворяют в воде, переливают растворы в рабочую ванну и доливают ее водой, затем определяют pH и доводят его до заданного значения, добавляя серную кислоту и углеродистый никель. Микротвердость осаждаемого никеля составляет 250-300 HV.

Для повышения износостойкости рабочей поверхности штампов и обеспечения ее постоянной смазки применяют способ их покрытия электролитическим осаждением твердого пористого слоя сплава никеля с кобальтом, с последующими операциями расширения пор в покрытии и его пропитки политетрафторэтиленом. Такое покрытие имеет твердость 750 HV, коэффициент трения 0,05. Оно